

**Doc 9157**  
**AN/901**



# Manuel de conception des aérodromes

---

## Partie 6 Frangibilité

Approuvé par le Secrétaire général  
et publié sous son autorité

Première édition — 2006

Organisation de l'aviation civile internationale

Publié séparément, en français, en anglais, en espagnol et en russe, par l'Organisation de l'aviation civile internationale.  
Prière d'adresser toute correspondance, à l'exception des commandes et des abonnements, au Secrétaire général.

Envoyer les commandes à l'une des adresses suivantes en y joignant le montant correspondant (par chèque, chèque bancaire ou mandat) en dollars des États-Unis ou dans la monnaie du pays d'achat. Les commandes par carte de crédit (American Express, Mastercard ou Visa) sont acceptées au Siège de l'OACI.

*Organisation de l'aviation civile internationale.* Groupe de la vente des documents, 999, rue University, Montréal, Québec, Canada H3C 5H7  
Téléphone: +1 (514) 954-8022; Fax: +1 (514) 954-6769; Sitatex: YULCAYA; Courriel: sales@icao.int; Web: <http://www.icao.int>

*Afrique du Sud.* Avex Air Training (Pty) Ltd., Private Bag X102, Halfway House, 1685, Johannesburg  
Téléphone: +27 (11) 315-0003/4; Facsimile: +27 (11) 805-3649; E-mail: avex@iafrica.com

*Allemagne.* UNO-Verlag GmbH, August-Bebel-Allee 6, 53175 Bonn / Telephone: +49 (0) 228-94 90 2-0; Facsimile: +49 (0) 228-94 90 2-22;  
E-mail: info@uno-verlag.de; Web: <http://www.uno-verlag.de>

*Cameroun.* KnowHow, 1, Rue de la Chambre de Commerce-Bonanjo, B.P. 4676, Douala / Téléphone: +237 343 98 42; Fax: +237 343 89 25;  
Courriel: knowhow\_doc@yahoo.fr

*Chine.* Glory Master International Limited, Room 434B, Hongshen Trade Centre, 428 Dong Fang Road, Pudong, Shanghai 200120  
Téléphone: +86 137 0177 4638; Facsimile: +86 21 5888 1629; E-mail: glorymaster@online.sh.cn

*Égypte.* ICAO Regional Director, Middle East Office, Egyptian Civil Aviation Complex, Cairo Airport Road, Heliopolis, Cairo 11776  
Téléphone: +20 (2) 267 4840; Facsimile: +20 (2) 267 4843; Sitatex: CAICAYA; E-mail: icaomid@cairo.icao.int

*Espagne.* A.E.N.A. — Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 14, Planta Tercera, Despacho 3. 11,  
28027 Madrid / Teléfono: +34 (91) 321-3148; Facsimile: +34 (91) 321-3157; Correo-e: sssc.ventasoci@aena.es

*Fédération de Russie.* Aviaizdat, 48, Ivan Franko Street, Moscow 121351 / Telephone: +7 (095) 417-0405; Facsimile: +7 (095) 417-0254

*Inde.* Oxford Book and Stationery Co., Scindia House, New Delhi 110001 or 17 Park Street, Calcutta 700016  
Téléphone: +91 (11) 331-5896; Facsimile: +91 (11) 51514284

*Inde.* Sterling Book House – SBH, 181, Dr. D. N. Road, Fort, Bombay 400001  
Téléphone: +91 (22) 2261 2521, 2265 9599; Facsimile: +91 (22) 2262 3551; E-mail: sbh@vsnl.com

*Japon.* Japan Civil Aviation Promotion Foundation, 15-12, 1-chome, Toranomom, Minato-Ku, Tokyo  
Téléphone: +81 (3) 3503-2686; Facsimile: +81 (3) 3503-2689

*Kenya.* ICAO Regional Director, Eastern and Southern African Office, United Nations Accommodation, P.O. Box 46294, Nairobi  
Téléphone: +254 (20) 7622 395; Facsimile: +254 (20) 7623 028; Sitatex: NBOCAYA; E-mail: icao@icao.unon.org

*Mexique.* Director Regional de la OACI, Oficina Norteamérica, Centroamérica y Caribe, Av. Presidente Masaryk No. 29, 3<sup>er</sup> Piso,  
Col. Chapultepec Morales, C.P. 11570, México D.F. / Teléfono: +52 (55) 52 50 32 11; Facsimile: +52 (55) 52 03 27 57;  
Correo-e: icao\_nacc@mexico.icao.int

*Nigéria.* Landover Company, P.O. Box 3165, Ikeja, Lagos  
Téléphone: +234 (1) 4979780; Facsimile: +234 (1) 4979788; Sitatex: LOSLORK; E-mail: aviation@landovercompany.com

*Pérou.* Director Regional de la OACI, Oficina Sudamérica, Apartado 4127, Lima 100  
Téléphone: +51 (1) 575 1646; Facsimile: +51 (1) 575 0974; Sitatex: LIMCAYA; Correo-e: mail@lima.icao.int

*Royaume-Uni.* Airplan Flight Equipment Ltd. (AFE), 1a Ringway Trading Estate, Shadowmoss Road, Manchester M22 5LH  
Téléphone: +44 161 499 0023; Facsimile: +44 161 499 0298; E-mail: enquiries@afeonline.com; Web: <http://www.afeonline.com>

*Sénégal.* Directeur régional de l'OACI, Bureau Afrique occidentale et centrale, Boîte postale 2356, Dakar  
Téléphone: +221 839 9393; Fax: +221 823 6926; Sitatex: DKRCAYA; Courriel: icaodkr@icao.sn

*Slovaquie.* Air Traffic Services of the Slovak Republic, Letové prevádzkové služby Slovenskej Republiky, State Enterprise,  
Letisko M.R. Štefánika, 823 07 Bratislava 21 / Telephone: +421 (7) 4857 1111; Facsimile: +421 (7) 4857 2105

*Suisse.* Adeco-Editions van Diermen, Attn: Mr. Martin Richard Van Diermen, Chemin du Lacuez 41, CH-1807 Blonay  
Téléphone: +41 021 943 2673; Facsimile: +41 021 943 3605; E-mail: mvandiermen@adeco.org

*Thaïlande.* ICAO Regional Director, Asia and Pacific Office, P.O. Box 11, Samyaek Ladprao, Bangkok 10901  
Téléphone: +66 (2) 537 8189; Facsimile: +66 (2) 537 8199; Sitatex: BKKCAYA; E-mail: icao\_apac@bangkok.icao.int

## Le Catalogue des publications et des aides audiovisuelles de l'OACI

Publié une fois par an, le Catalogue donne la liste des publications et des aides audiovisuelles disponibles. Des suppléments au Catalogue annoncent les nouvelles publications et aides audiovisuelles, les amendements, les suppléments, les réimpressions, etc.

On peut l'obtenir gratuitement auprès du Groupe de la vente des documents, OACI.

**Doc 9157**  
**AN/901**



# **Manuel de conception des aérodromes**

---

## **Partie 6** **Frangibilité**

Approuvé par le Secrétaire général  
et publié sous son autorité

Première édition — 2006

Organisation de l'aviation civile internationale



## AVANT-PROPOS

La présence d'aides visuelles et non visuelles (p. ex. des mâts de balisage lumineux d'approche, du matériel météorologique, des aides radios à la navigation) bien conçues et convenablement installées constitue l'une des conditions nécessaires à la sécurité et à la régularité de l'aviation civile. Aux aéroports, diverses aides visuelles et non visuelles sont implantées près des pistes, des voies de circulation et des aires de trafic et peuvent présenter un danger pour les aéronefs en cas d'impact accidentel lors de l'atterrissage, du décollage ou de manœuvres au sol. Tous ces équipements et leurs montants seront frangibles et installés aussi bas que possible pour qu'en cas d'impact il n'y ait pas perte de contrôle de l'aéronef.

Bon nombre d'éléments contenus dans la présente partie sont étroitement liés aux spécifications relatives à la frangibilité des aides visuelles et non visuelles qui figurent dans l'Annexe 14 — *Aérodromes*, Volume I — *Conception et exploitation technique des aérodromes* et Volume II — *Hélistations*. Le présent manuel a pour objet d'aider les États à mettre en œuvre ces spécifications et ainsi de veiller à ce qu'elles soient uniformément appliquées.

L'Annexe 14 — *Aérodromes* contient des normes ainsi que des pratiques recommandées concernant les objets qui doivent être rendus frangibles. Cependant, étant donné que le présent manuel a pour objectif de fournir des indications concernant la conception d'objets frangibles, aucune distinction ne sera faite entre les deux types de spécifications.

Le manuel contient des éléments indicatifs concernant la conception, la mise à l'épreuve et l'installation de structures frangibles aux aéroports et aux hélistations, et il est fondé sur les conclusions des cinquième et sixième réunions du Groupe d'étude sur les aides frangibles, qui se sont tenues respectivement en 1998 et 2003, ainsi que sur les pratiques en vigueur dans plusieurs États.

Il est prévu que le manuel sera tenu à jour. Les éditions futures seront améliorées en fonction des travaux des responsables de la réglementation, de l'industrie et des exploitants d'aéroports, ainsi que de l'expérience acquise et des observations et suggestions communiquées par les utilisateurs du manuel. Le lecteur est donc invité à s'adresser au Secrétaire général de l'OACI pour lui faire connaître son opinion, ses commentaires et ses suggestions à propos de la présente édition.



# TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
<b>Chapitre 1. Introduction</b> .....	<b>1-1</b>
1.1 Définitions .....	1-1
1.2 Qu'est-ce que la frangibilité?.....	1-1
1.3 Obstacles à rendre frangibles.....	1-1
 <b>Chapitre 2. Considérations relatives à l'implantation</b> .....	 <b>2-1</b>
2.1 Implantation du matériel .....	2-1
Feux de bord de piste, de prolongement d'arrêt et de voie de circulation .....	2-1
Dispositif lumineux d'approche .....	2-1
Indicateurs visuels de pente d'approche .....	2-1
Panneaux de signalisation et balises .....	2-2
Indicateurs de direction du vent (manches à vent) .....	2-2
Radiophare d'alignement de piste ILS .....	2-2
Réseau d'antennes de trajectoire de descente ILS .....	2-2
Dispositif d'azimut d'approche MLS .....	2-3
Dispositif de site d'approche MLS .....	2-3
Anémomètres .....	2-4
Télé mètres de plafond .....	2-4
Transmissomètres .....	2-4
Clôtures .....	2-5
2.2 Emplacement préféré pour les éléments de matériel .....	2-5
 <b>Chapitre 3. Considérations générales concernant la conception</b> .....	 <b>3-1</b>
3.1 Spécifications opérationnelles .....	3-1
Balisage lumineux d'approche .....	3-1
Indicateurs de direction du vent .....	3-1
Radiophare d'alignement de piste ILS .....	3-1
Trajectoire de descente ILS .....	3-1
Dispositif d'azimut d'approche MLS .....	3-1
Dispositif de site d'approche MLS .....	3-1
Anémomètres .....	3-2
Télé mètres de plafond .....	3-2
Transmissomètres .....	3-2
Clôtures .....	3-2
3.2 Conditions environnementales de fonctionnement .....	3-2
Charge exercée par le vent .....	3-2
Souffle des réacteurs .....	3-3
Vibration .....	3-3
3.3 Spécifications concernant la frangibilité .....	3-3

	<i>Page</i>
<b>Chapitre 4. Conception pour la frangibilité .....</b>	<b>4-1</b>
4.1 Théorie de la conception .....	4-1
4.2 Mode de défaillance .....	4-2
4.3 Charge d'impact .....	4-2
4.4 Transfert d'énergie .....	4-2
4.5 Concepts de frangibilité .....	4-3
Généralités .....	4-3
Raccords frangibles .....	4-3
Membres frangibles .....	4-4
Mécanisme frangible .....	4-4
4.6 Mécanismes de séparation ou de défaillance .....	4-5
4.7 Sélection des matériaux .....	4-6
4.8 Éléments électriques .....	4-6
4.9 Critères de conception pour la frangibilité .....	4-7
Feux hors sol de bord de piste et de voie de circulation .....	4-7
Panneaux de guidage pour la circulation de surface .....	4-7
PAPI/APAPI et T-VASIS/AT-VASIS .....	4-8
Balisage lumineux d'approche .....	4-9
Montants .....	4-11
Montants pour ILS/MLS et autres aides non visuelles .....	4-16
<b>Chapitre 5. Épreuves de frangibilité .....</b>	<b>5-1</b>
5.1 Généralités .....	5-1
5.2 Procédures d'épreuve .....	5-2
Feux hors sol de bord de piste ou de voie de circulation .....	5-2
Panneaux de guidage de la circulation au sol .....	5-2
PAPI/APAPI et T-VASIS/AT-VASIS .....	5-3
Mâts de balisage lumineux d'approche et structures similaires .....	5-3
Indicateurs de direction du vent/transmissomètres/mesureurs à balayage vers l'avant .....	5-6
Structures ILS/MLS .....	5-6
5.3 Épreuves conduites par les fabricants et les organismes d'essai .....	5-7
<b>Chapitre 6. Méthodes de simulation numérique pour l'évaluation de la frangibilité .....</b>	<b>6-1</b>
6.1 Généralités .....	6-1
6.2 Analyses .....	6-1
6.3 Approche de l'analyse par éléments finis (AEF) .....	6-2
6.4 Approche hybride .....	6-4
6.5 Vérification au moyen d'une analyse par calcul .....	6-4
<b>Chapitre 7. Installation, inspection et entretien .....</b>	<b>7-1</b>
7.1 Généralités .....	7-1
7.2 Installation .....	7-1
7.3 Inspection et entretien .....	7-1
<b>Références .....</b>	<b>R-1</b>

# Chapitre 1

## INTRODUCTION

### 1.1 DÉFINITIONS

**Objet frangible.** Objet de faible masse conçu pour casser, se déformer ou céder sous l'effet d'un impact de manière à présenter le moins de risques possible pour les aéronefs.

**Charge d'impact.** Application soudaine de la charge ou de la force d'un objet se déplaçant à haute vitesse.

**Mécanisme de cassure ou de défaillance.** Instrument qui a été conçu, configuré et fabriqué de manière à être très sensible à un type de charge, résultant habituellement d'un impact dynamique chronologique, mais résistant aux charges environnementales et opérationnelles normales imposées au mécanisme durant la vie utile de la structure. Le « mécanisme de cassure » peut être conçu en même temps que les joints de la structure et/ou indépendamment de ces joints.

**Énergie d'impact.** Énergie nécessaire pour qu'un objet casse, se déforme ou cède sous l'effet d'une charge d'impact.

### 1.2 QU'EST-CE QUE LA FRANGIBILITÉ?

Aux aéroports, diverses aides visuelles et non visuelles (p. ex. des mâts de balisage lumineux d'approche, du matériel météorologique, des aides radio à la navigation) sont implantées à proximité des pistes, des voies de circulation et des aires de trafic lorsqu'elles peuvent présenter un danger pour les aéronefs en cas d'impact accidentel lors de l'atterrissage, du décollage ou de manœuvres au sol. Tous ces équipements et leurs montants devraient être frangibles et installés aussi bas que possible pour qu'en cas d'impact il n'y ait pas perte de contrôle de l'aéronef. Cette frangibilité est obtenue en utilisant des matériaux légers et/ou en introduisant des mécanismes de cassure ou de défaillance qui permettent à l'objet de casser, de se déformer ou de céder à l'impact.

### 1.3 OBSTACLES À RENDRE FRANGIBLES

1.3.1 Sont définis comme obstacles tous les objets fixes ou parties de ces objets qui se trouvent sur une aire destinée au déplacement des aéronefs à la surface ou qui se dressent au-dessus d'une surface destinée à protéger un aéronef en vol. Le premier objectif devrait être d'implanter des objets de façon qu'ils ne constituent pas des obstacles. Néanmoins, certains équipements et installations d'aéroport, du fait de leur fonction, doivent être implantés dans une aire opérationnelle. Tous ces équipements et installations de même que leurs montants devraient avoir une masse minimale et être frangibles de façon qu'en cas d'impact, il n'y ait pas perte de contrôle de l'aéronef.

1.3.2 Le Chapitre 5 de l'Annexe 14 — *Aérodromes, Volume I — Conception et exploitation technique des aérodromes*, spécifie que les feux d'approche hors sol et leurs montants devraient être frangibles.

Toutefois, lorsqu'un feu et son montant se trouvent dans la partie du balisage lumineux d'approche qui est située à plus de 300 m du seuil :

- a) et que la hauteur du montant dépasse 12 m, seuls les 12 m supérieurs devraient être frangibles ;
- b) et que le montant est entouré d'objets non frangibles, seule la partie du montant qui s'élève au-dessus des objets avoisinants devrait être frangible.

1.3.3 Le Chapitre 9 de l'Annexe 14, Volume I, précise que tout matériel ou toute installation nécessaires pour les besoins de la navigation aérienne qui doivent être implantés :

- a) sur une bande de piste (aux instruments ou à vue) ; ou
- b) sur une aire de sécurité d'extrémité de piste ; ou
- c) sur un prolongement dégagé et qui risquent de constituer un danger pour un aéronef en vol ; ou
- d) sur une bande de voie de circulation ou à une distance inférieure aux distances spécifiées dans le Tableau 3-1, colonne 11 de l'Annexe 14, Volume I ;

devraient être frangibles et placés aussi bas que possible.

1.3.4 Le Chapitre 9 de l'Annexe 14, Volume I, indique aussi que tout matériel ou toute installation nécessaires pour les besoins de la navigation aérienne, qui doivent être implantés sur la bande ou à proximité de la bande d'une piste avec approche de précision de catégorie I, II ou III et :

- a) qui sont situés à moins de 240 m de l'extrémité de la bande et à moins de :
  - 1) 60 m du prolongement de l'axe lorsque le chiffre de code est 3 ou 4 ;
  - 2) 45 m du prolongement de l'axe lorsque le chiffre de code est 1 ou 2 ; ou
- b) qui font saillie au-dessus de la surface intérieure d'approche, de la surface intérieure de transition ou de la surface d'atterrissage interrompu ;

devraient être frangibles et placés aussi bas que possible.

1.3.5 De plus, le Chapitre 9 de l'Annexe 14, Volume I, indique que tout matériel ou toute installation nécessaires pour les besoins de la navigation aérienne qui constituent un obstacle important pour l'exploitation en vertu des dispositions des § 4.2.4, 4.2.11, 4.2.20 ou 4.2.27 de l'Annexe devraient être frangibles et placés aussi bas que possible.

1.3.6 Les matériels et les installations d'aéroport qui, en raison de leur fonction particulière pour la navigation aérienne, ont été implantés dans une aire opérationnelle comprennent :

- les feux hors sol de piste, de voie de circulation et de prolongement d'arrêt
- les dispositifs lumineux d'approche
- les indicateurs visuels de pente d'approche
- les panneaux de signalisation et les balises

- les indicateurs de direction du vent
  - les radiophares d’alignement de piste des systèmes d’atterrissage aux instruments (ILS)
  - les dispositifs d’alignement de descente ILS
  - les antennes de contrôle ILS
  - les dispositifs d’azimut d’approche du système d’atterrissage hyperfréquences (MLS)
  - les dispositifs de site d’approche MLS
  - les antennes de contrôle MLS
  - les réflecteurs radars
  - les anémomètres
  - les télémètres de plafond
  - les transmissomètres
  - les mesureurs à balayage vers l’avant
  - les clôtures
-



## Chapitre 2

# CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'IMPLANTATION

### 2.1 IMPLANTATION DU MATÉRIEL

2.1.1 Les orientations ou spécifications concernant l'implantation des aides de navigation figurent dans l'Annexe 10 — *Télécommunications aéronautiques*, Volume I — *Aides radio à la navigation*, et dans l'Annexe 14 — *Aérodromes*, Volume I — *Conception et exploitation technique des aérodromes*, et Volume II — *Hélistations*, ainsi que dans les manuels correspondants. Il convient d'en tenir compte lors de l'implantation d'aides à la navigation. En général, le matériel et les clôtures de sûreté devraient être implantés aussi loin que possible des axes de piste et de voies de circulation.

#### **Feux de bord de piste, de prolongement d'arrêt et de voie de circulation**

2.1.2 Les feux de bord de piste, de prolongement d'arrêt et de voie de circulation devraient être placés le long des bords de l'aire utilisée en tant que piste, prolongement d'arrêt et voie de circulation, respectivement, ou à l'extérieur de cette aire, à une distance maximale de 3 m des bords. De même, les feux de seuil et d'extrémité de piste devraient être disposés sur une rangée perpendiculaire à l'axe de la piste, aussi près que possible de l'extrémité de la piste et, en tout cas, à 3 m au plus de cette extrémité, à l'extérieur de la piste. Les feux de bord de piste, de prolongement d'arrêt et de voie de circulation hors sol constituent des obstacles et devraient donc être placés sur des montants frangibles.

#### **Dispositif lumineux d'approche**

2.1.3 Un dispositif lumineux d'approche ne peut être implanté que le long du prolongement de l'axe d'une piste. L'Annexe 14, Volume I, indique trois types de balisage lumineux d'approche, à savoir pour les approches simples de précision de catégorie I et pour les approches de précision de catégories II et III. Tous les balisages lumineux d'approche commencent à une distance spécifiée du seuil de piste et se prolongent à l'extérieur en direction de l'approche vers la piste. Lorsque le seuil est à l'extrémité de la piste, la totalité du balisage lumineux est hors sol et les feux peuvent constituer un obstacle à la navigation aérienne. Lorsque le seuil est décalé par rapport à l'extrémité, la partie du balisage lumineux située entre le seuil décalé et l'extrémité de la piste est généralement encastrée et, par suite, les feux ne constituent pas un obstacle.

#### **Indicateurs visuels de pente d'approche**

2.1.4 Un indicateur visuel de pente d'approche doit être implanté à un endroit spécifié proche de la piste. L'Annexe 14, Volume I, contient des spécifications relatives à deux types d'indicateurs visuels de pente d'approche : le T-VASIS et le PAPI (indicateur visuel de pente d'approche en T et indicateur de trajectoire d'approche de précision, respectivement). Ces indicateurs sont constitués d'ensembles lumineux hors sol disposés soit sur un côté de la piste soit sur les deux côtés, à des distances spécifiées au-delà du seuil. Le nombre d'ensembles lumineux et leur disposition dépendent du type d'indicateur. En général, les ensembles lumineux sont implantés à une distance allant de 15 à 42 m par rapport au bord de la piste.

### **Panneaux de signalisation et balises**

2.1.5 Les panneaux de signalisation et les balises doivent être implantés aussi près du bord de la chaussée que leur construction le permet pour être plus facilement visibles aux pilotes d'aéronef. Ceux qui sont implantés près d'une piste ou d'une voie de circulation doivent être suffisamment bas pour laisser une garde suffisante aux hélices et aux fuseaux-moteurs des avions à réaction. Ceux qui sont situés plus loin de la piste ou de la voie de circulation doivent être plus grands de façon que les inscriptions soient suffisamment grandes pour être lues par les pilotes.

*Note.— Pour de plus amples renseignements concernant l'emplacement des aides visuelles dont il est question aux § 2.1.2 à 2.1.5, prière de se reporter au Chapitre 5 de l'Annexe 14, Volume I.*

### **Indicateurs de direction du vent (manches à vent)**

2.1.6 Les indicateurs de direction du vent doivent être implantés de manière à être visibles depuis les avions en vol ou sur l'aire de mouvement. Ils peuvent se trouver hors des aires mentionnées aux § 1.3.3 et 1.3.4. Lors de la sélection de l'emplacement, il convient aussi de veiller à ce que l'indicateur ne subisse pas les effets des perturbations de l'air provoqués par des objets à proximité.

### **Radiophare d'alignement de piste ILS**

2.1.7 Le meilleur emplacement pour l'antenne réseau d'alignement de piste est sur le prolongement de l'axe de la piste, au-delà de l'extrémité opposée. Cet emplacement permet au signal d'alignement rayonné de couvrir l'axe de la piste. Les facteurs ci-après déterminent le choix de l'emplacement :

- a) besoin de couverture ;
- b) type de réseau d'alignement de piste ;
- c) obstacles ou surfaces réfléchissantes verticales à l'intérieur du volume de couverture d'alignement de piste désiré ;
- d) critères pour le franchissement des obstacles et les approches interrompues ;
- e) emplacement de l'antenne de contrôle ;
- f) considérations techniques relatives à l'implantation.

### **Réseau d'antennes de trajectoire de descente ILS**

2.1.8 Le décalage latéral du réseau d'antennes de trajectoire de descente ILS ne devrait pas être inférieur à 120 m par rapport à l'axe de piste. L'emplacement longitudinal devrait être choisi de manière que le niveau de référence ILS soit aussi proche que possible de la valeur nominale recommandée de 15 m au-dessus du seuil. En général, les facteurs ci-après déterminent le choix de l'emplacement :

- a) limites d'exploitation désirées en ce qui concerne les vitesses d'approche et les vitesses verticales de descente des avions ;

- b) position des obstacles dans l'aire d'approche finale, le secteur de l'aérodrome et les aires d'approche interrompue, et limites correspondantes pour le franchissement des obstacles ;
- c) longueur de piste disponible ;
- d) emplacement des antennes de contrôle ;
- e) considérations techniques relatives à l'implantation.

*Note.— Pour de plus amples indications concernant la question de l'implantation abordée aux § 2.1.7 et 2.1.8, prière de se reporter au Chapitre 3 et au Supplément C de l'Annexe 10, Volume I.*

### **Dispositif d'azimut d'approche MLS**

2.1.9 Le meilleur emplacement pour l'antenne du dispositif de guidage en azimut d'approche (de même que pour le radiophare d'alignement de piste ILS) est situé sur le prolongement de l'axe au-delà de l'extrémité aval de la piste, et sur le prolongement de l'axe avant le seuil pour l'antenne du dispositif de guidage en azimut arrière, le cas échéant. Les facteurs ci-après déterminent le choix de l'emplacement :

- a) nécessité de coimplantation avec l'antenne réseau existante du radiophare d'alignement de piste ILS ;
- b) critères pour le franchissement des obstacles et les approches interrompues ;
- c) considérations liées aux trajets multiples ;
- d) problème d'interférence possible si le MLS doit être implanté dans l'aire de balisage lumineux d'approche ;
- e) emplacement des antennes de contrôle ;
- f) considérations techniques relatives à l'implantation.

### **Dispositif de site d'approche MLS**

2.1.10 L'emplacement de l'antenne du dispositif de site d'approche (de même que pour la trajectoire de descente ILS) devrait être décalé par rapport à la piste. L'emplacement est choisi de manière que l'asymptote de la trajectoire de descente minimale coupe le seuil au niveau de référence d'approche MLS. Les facteurs ci-après déterminent le choix de l'emplacement :

- a) nécessité de coimplantation avec l'antenne existante de trajectoire de descente ILS ;
- b) critères pour le franchissement des obstacles et les approches interrompues ;
- c) considérations liées aux trajets multiples ;
- d) emplacement des antennes de contrôle ;
- e) considérations techniques relatives à l'implantation.

2.1.11 En cas de coimplantation ILS/MLS, l'antenne du dispositif de site d'approche MLS devrait être placée en avant de l'alignement de descente ILS et vers l'extérieur (plus loin par rapport à l'axe de piste) ou vers l'intérieur (plus près de l'axe de piste) par rapport à l'antenne ILS.

*Note.— Pour de plus amples indications concernant la question de l'implantation abordée aux § 2.1.10 et 2.1.11, prière de se reporter au Chapitre 3 et au Supplément G de l'Annexe 10, Volume I.*

### **Anémomètres**

2.1.12 Compte tenu du fait que la plupart des aérodromes sont habituellement des espaces plats et ouverts, en général le vent de surface qui balaye la piste ou le réseau de pistes peut être considéré comme homogène. Les observations faites du vent à la surface devraient être représentatives des conditions à une hauteur de 6 à 10 m au-dessus de la piste, ce qui habituellement signifie que la hauteur du mât de l'anémomètre lui-même est de 6 à 10 m. Par conséquent, dans les conditions normales, les anémomètres peuvent être implantés en dehors de la bande de piste et ne devraient pas faire saillie dans une surface de limitation d'obstacles de transition ni sur des bandes de voies de circulation. Lorsqu'il est nécessaire d'implanter des anémomètres à l'intérieur de la bande afin de fournir des observations représentatives pour les atterrissages et les décollages, il est très improbable (bien que pas totalement impossible) que les conditions locales nécessitent une implantation à moins de 60 m de l'axe de la piste. Ainsi, sur les bandes de piste qui comprennent une piste avec approche de précision, où les conditions locales nécessitent l'implantation d'un anémomètre à l'intérieur de la bande, l'anémomètre ne doit pas faire saillie dans la surface intérieure de transition et dans la zone dégagée d'obstacles. Il convient d'envisager l'utilisation des mâts de balisage lumineux d'approche frangibles pour les anémomètres.

### **Téléètres de plafond**

2.1.13 Les observations de la hauteur de la base des nuages nécessaires pour les atterrissages devraient être représentatives de l'aire d'approche, mais dans le cas des pistes avec approche de précision, elles devraient être représentatives de la situation à l'emplacement de la radioborne intermédiaire des systèmes d'atterrissage aux instruments. La mesure de la hauteur de la base des nuages pour les pistes avec approche de précision devrait être prise automatiquement par le téléètre de plafond implanté près de la radioborne intermédiaire. Si pour une raison quelconque cela n'est pas possible, le téléètre de plafond devrait être implanté à l'intérieur de la bande de piste mais, sauf circonstances locales très exceptionnelles, n'a pas besoin de faire saillie dans la zone dégagée d'obstacles. Lorsqu'un téléètre de plafond est utilisé sur des pistes avec approche classique, on peut normalement effectuer des observations représentatives de la hauteur de la base des nuages en implantant l'instrument hors de la bande. Le téléètre excède rarement 1,5 m de hauteur et comporte généralement un émetteur et un récepteur.

### **Transmissomètres**

2.1.14 Les transmissomètres comportent généralement un émetteur et un récepteur montés sur des pylônes d'environ 1,5 à 4,5 m de haut et séparés de 10 à 200 m le long d'une ligne de base. Il peut être nécessaire d'implanter jusqu'à trois ensembles de transmissomètres par piste. Les transmissomètres devraient être implantés à une distance maximale de 120 m par rapport à l'axe de la piste. Cela signifie que les transmissomètres doivent être implantés à l'intérieur de la bande de piste. Cependant, dans des circonstances locales très exceptionnelles, il pourrait se révéler nécessaire de les implanter à moins de 60 m de l'axe de piste, de sorte qu'ils feraient saillie dans la zone dégagée d'obstacles.

## Clôtures

2.1.15 Des clôtures devraient être installées sur un aérodrome pour empêcher l'accès non intentionnel ou prémédité d'une personne non autorisée à l'aire de l'aérodrome qui n'est pas ouverte au public. Des clôtures devraient aussi être installées pour empêcher l'entrée sur l'aire de mouvement d'animaux suffisamment grands pour constituer un risque pour les aéronefs. En général, la clôture devrait être implantée aussi loin que possible de l'axe des pistes et des voies de circulation.

2.1.16 La clôture devrait être munie de portails pour permettre aux véhicules d'entrer sur l'aire de mouvement et faciliter l'accès des véhicules de sauvetage et de lutte contre l'incendie aux aires extérieures ou limites de l'aéroport. Les portails, en particulier les portails lourds avec contrôle à distance, devraient être placés hors des aires opérationnelles et aussi loin que possible de la piste ou du prolongement d'axe de piste pour limiter les dommages structurels causés aux avions en cas de collision avec une clôture ou ses portails. De plus, il conviendrait d'utiliser des « portails frangibles » pour faciliter le passage des véhicules de sauvetage et de lutte contre l'incendie vers les aires situées à l'extérieur des limites de l'aéroport.

## 2.2 EMLACEMENT PRÉFÉRÉ POUR LES ÉLÉMENTS DE MATÉRIEL

2.2.1 Dans les cas où la conception d'un matériel frangible serait impossible ou compromettrait les performances opérationnelles par rapport aux spécifications stipulées, l'objet devrait être réimplanté ou placé autrement de façon à ne pas présenter de risque pour les aéronefs.

2.2.2 Dans la conception des systèmes, il conviendrait de tenir compte de la possibilité de disposer les éléments de manière à limiter le nombre et/ou la masse des obstacles dans les aires qui doivent être maintenues libres de tout objet, sauf pour les matériels et les installations frangibles nécessaires à la navigation aérienne (voir les §1.3.3 et 1.3.4).

2.2.3 Un examen des données sur les accidents pertinents révèle qu'une majorité d'entre eux dans l'aire de prolongement de la piste surviennent à une distance inférieure à 300 m de l'extrémité de la piste. Tous les matériels implantés dans cette aire devraient donc avoir une faible masse et être frangibles. Dans la mesure du possible, tous les matériels implantés au-delà d'une distance de 300 m par rapport à l'extrémité de la piste devraient avoir une faible masse et être frangibles. Les données disponibles sur les accidents indiquent aussi qu'une majorité d'entre eux surviennent lorsque les avions s'arrêtent dans la portion nivelée de la bande de piste. Tous les matériels implantés dans cette portion de la bande devraient donc avoir une faible masse et être frangibles. Lorsque c'est possible, tous les matériels situés à l'intérieur de la portion non nivelée de la bande de piste devraient avoir une faible masse et être frangibles.

2.2.4 Lorsque la fonction du matériel exige une implantation dans une aire qui présente un risque pour les aéronefs, les éléments qui peuvent être déplacés hors de la zone de risque devraient être réimplantés.

2.2.5 Lorsqu'une coimplantation est essentielle, il conviendrait de s'efforcer de placer les éléments au-dessous de la surface du sol, si c'est possible.

2.2.6 En raison de sa masse importante, l'abri de l'émetteur des installations ILS ne peut être rendu frangible. En conséquence, lorsque l'on planifie l'installation d'un ILS, l'emplacement de l'abri de l'émetteur pour l'alignement de piste de même que celui de l'émetteur pour la trajectoire de descente devrait être étudié avec soin. En aucun cas l'abri de l'émetteur pour l'alignement de piste ILS ne devrait être implanté à l'intérieur de l'aire de sécurité d'extrémité de piste (ou sur le prolongement de cette aire à une distance inférieure à 300 m par rapport à l'extrémité de la piste). Lorsque c'est possible, l'abri de l'émetteur pour la

trajectoire de descente ILS devrait être implanté hors de la bande de piste. Dans tous les cas, le décalage latéral de l'abri de l'émetteur pour la trajectoire de descente ILS ne devrait pas être inférieur à 120 m par rapport à l'axe de la piste.

2.2.7 Les installations MLS, y compris l'antenne d'azimut et l'antenne de site telles qu'elles sont actuellement conçues, constituent des matériels lourds et ne peuvent être rendues frangibles. Par conséquent, ces installations devraient être implantées de manière à présenter le moins de risque possible pour les aéronefs. L'antenne d'azimut MLS devrait être implantée aussi loin que possible de l'extrémité de la piste et, dans tous les cas, au minimum à 300 m. Lorsque c'est possible, l'antenne de site MLS devrait être implantée hors de la bande de piste.

2.2.8 Les structures existantes qui se trouvent à une distance inférieure à 300 m par rapport à l'extrémité de la piste et qui ne répondent pas aux spécifications de frangibilité, comme par exemple les actuels réseaux d'antennes d'alignement de piste ILS non frangibles, devraient être remplacées par une structure frangible ou réimplantées au-delà d'une distance de 300 m par rapport à l'extrémité de la piste. De même, les structures implantées à l'intérieur de la portion nivelée de la bande de piste qui ne répondent pas à la spécification de frangibilité, comme par exemple une antenne existante de trajectoire de descente ILS non frangible, devraient être remplacées par une structure frangible, si possible, et réimplantées à l'intérieur de la partie non nivelée de la bande de piste. Dans ce contexte, il convient de noter qu'en général le décalage latéral du réseau d'antennes de trajectoire de descente ILS ne devrait pas être inférieur à 120 m par rapport à l'axe de la piste (voir le § 2.1.8).

---

## Chapitre 3

# CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT LA CONCEPTION

### 3.1 SPÉCIFICATIONS OPÉRATIONNELLES

3.1.1 Il est normal qu'une structure frangible fléchisse lorsqu'elle est soumise à des charges environnementales. Cependant, il est important que le fléchissement de la structure demeure dans certaines limites de manière à ne pas compromettre la qualité du signal de l'aide que la structure soutient. À cette fin, les § 3.1.2 à 3.1.10 fournissent des indications sur les limites de fléchissement admissibles, c'est-à-dire sur les tolérances de fléchissement en ce qui concerne les aides qui sont installées sur de hauts mâts ou de hautes structures.

#### **Balisage lumineux d'approche**

3.1.2 Lorsque la structure est soumise aux charges environnementales envisagées, le fléchissement devrait être tel que la déviation du faisceau lumineux n'excède pas  $\pm 2$  degrés dans l'axe vertical et  $\pm 5$  degrés dans l'axe horizontal.

#### **Indicateurs de direction du vent**

3.1.3 Il est inutile d'établir des tolérances de fléchissement en ce qui concerne cette aide.

#### **Radiophare d'alignement de piste ILS**

3.1.4 Lorsque l'on établit des tolérances de fléchissement pour la structure, il convient de tenir compte des limites applicables de contrôle du système pour chaque catégorie de performance de l'installation.

#### **Trajectoire de descente ILS**

3.1.5 Lorsque l'on établit des tolérances de fléchissement pour la structure, il convient de tenir compte des limites applicables de contrôle du système pour chaque catégorie de performance de l'installation.

#### **Dispositif d'azimut d'approche MLS**

3.1.6 Lorsque l'on établit les tolérances de fléchissement du dispositif, il convient de tenir compte de la tolérance d'exploitation admissible recommandée pour la précision du faisceau.

#### **Dispositif de site d'approche MLS**

3.1.7 Lorsque l'on établit les tolérances de fléchissement du dispositif, il convient de tenir compte de la tolérance d'exploitation admissible recommandée pour la précision du faisceau.

*Note.— Pour de plus amples indications concernant les tolérances de fléchissement dont il est question aux § 3.1.4 à 3.1.7, prière de se reporter à l'Annexe 10, Volume I.*

### **Anémomètres**

3.1.8 Ces appareils se composent d'un capteur de vitesse du vent et d'un capteur de direction, habituellement coimplantés sur le même mât. Le mât devrait être soumis à des fléchissements verticaux minimaux de façon à garantir que les capteurs sont toujours en équilibre. Cette précaution est nécessaire pour le capteur (ou l'hélice) de vitesse du vent de façon à garantir que le temps de réaction n'est pas compromis, de même que pour le capteur de direction (girouette) pour garantir qu'il n'adopte pas une position neutre préférée mais a bien un point d'équilibre unique pour chaque direction du vent.

### **Téléomètres de plafond**

3.1.9 La structure doit être suffisamment stable pour assurer la précision de la mesure, mais cette exigence est moins stricte que pour les transmissomètres.

### **Transmissomètres**

3.1.10 Il faut que l'alignement de l'émetteur et du récepteur soit précis pour ne pas compromettre les mesures. Ceci étant, la structure doit être suffisamment stable et son fléchissement minimal pour garantir la précision de la mesure lorsqu'elle est soumise aux charges environnementales envisagées.

### **Clôtures**

3.1.11 La clôture et ses portails doivent être suffisamment stables pour remplir leurs fonctions et ne peuvent être rendus frangibles sans incidence néfaste sur ces fonctions. Cependant, la structure devrait être segmentée et sa conception telle qu'elle s'ouvre comme une fenêtre au cas où un avion entrerait en collision avec la clôture.

3.1.12 Nonobstant ce qui précède, toute clôture installée entre des mâts frangibles de balisage lumineux d'approche ou placée de façon à protéger des aires ILS critiques et sensibles contre toute intervention illicite devrait être frangible et légère.

## **3.2 CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES DE FONCTIONNEMENT**

3.2.1 Bien qu'il soit exigé qu'il soit frangible afin de limiter les risques pour les aéronefs en cas d'impact, l'objet doit aussi être capable de supporter les conditions environnementales auxquelles il peut être exposé durant son fonctionnement normal. Les paragraphes ci-après identifient plusieurs conditions qui devraient être prises en compte par le concepteur. Les détails à ce propos ainsi que concernant d'autres conditions se trouvent dans les documents pertinents de l'autorité qui a juridiction en la matière.

### **Charge exercée par le vent**

3.2.2 L'objet devrait être suffisamment solide et rigide pour répondre aux spécifications opérationnelles de son fonctionnement normal au niveau spécifié de vitesse du vent (p. ex. 140 km/h [75 kt] avec une

couche de glace de 12,5 mm). De plus, l'objet devrait être capable de résister à un niveau plus élevé de vitesse du vent (p. ex. 210 km/h [113 kt]). Lors de sa conception, la charge du vent devrait être fondée sur cette projection dans le temps (p. ex. un intervalle moyen de récurrence de 50 ans).

### **Souffle des réacteurs**

3.2.3 La charge produite par le souffle des moteurs à réaction ne devrait pas causer de défaillance ni de déformation permanente. Il faut tenir compte de l'empreinte du souffle de l'aéronef type. La charge effective dépend de la distance et de l'orientation de l'objet par rapport à cet aéronef.

### **Vibration**

3.2.4 Les éléments de la structure, qui constituent le support de l'objet, devraient être conçus de manière qu'aucune partie ou combinaison de parties ne vibre aux fréquences de résonance ou proche des fréquences de résonance provoquées par la réaction aérodynamique au vent, le souffle des réacteurs, les tremblements de terre, etc.

## **3.3 SPÉCIFICATIONS CONCERNANT LA FRANGIBILITÉ**

3.3.1 Lorsqu'ils sont implantés dans les aires décrites dans la section 1.3, le matériel et ses montants devraient être frangibles de façon à garantir qu'ils cassent, se déforment ou cèdent en cas d'impact accidentel par un aéronef. Les matériaux de conception choisis devraient empêcher toute tendance de la part des éléments, y compris les conducteurs électriques, etc., à « envelopper » l'aéronef accidenté ou toute partie de cet aéronef.

3.3.2 Une structure frangible devrait être conçue pour résister aux charges statiques et opérationnelles du vent ou du souffle des réacteurs selon un coefficient adapté de sécurité, mais devrait casser, se déformer ou céder facilement lorsqu'elle est soumise à des forces de collision soudaine d'un aéronef de 3 000 kg se déplaçant en vol à 140 km/h (75 kt) ou à la surface à 50 km/h (27 kt).

3.3.3 La frangibilité devrait être prouvée au moyen d'épreuves grandeur réelle, d'évaluations sur ordinateur ou de calculs fondés sur des comparaisons avec des structures similaires déjà approuvées, avec l'appui si possible d'épreuves complémentaires sur les éléments.

---



## Chapitre 4

# CONCEPTION POUR LA FRANGIBILITÉ

### 4.1 THÉORIE DE LA CONCEPTION

4.1.1 Les matériels (et leurs montants) implantés près des pistes et des voies de circulation devraient être conçus de façon à être frangibles pour limiter les risques en cas de collision par des aéronefs provenant de toute direction, soit en vol soit en manœuvre au sol. Cette collision peut avoir des effets néfastes sur la sécurité du vol de trois manières :

- a) l'aéronef peut perdre son élan ;
- b) l'aéronef peut changer de direction ;
- c) l'aéronef peut subir des dommages structuraux.

4.1.2 La part d'élan perdu est obtenue mathématiquement par calcul intégral de la différentielle entre force et durée. Cela signifie que tant la force de l'impact que sa durée devraient être aussi minimales que possible.

4.1.3 Le dommage structurel subi par l'aéronef étant lié à la quantité d'énergie qu'il faut pour déplacer hors du chemin l'obstacle, ou une partie de cet obstacle, celle-ci devrait donc être limitée. Elle se ventile en plusieurs composantes :

- a) l'énergie nécessaire pour activer des mécanismes de séparation ou de défaillance ;
- b) l'énergie nécessaire pour une déformation plastique et/ou élastique de l'obstacle, ou d'une partie de l'obstacle ;
- c) l'énergie nécessaire pour accélérer l'obstacle, ou une partie de l'obstacle, jusqu'à la vitesse de l'aéronef au moins.

4.1.4 L'énergie nécessaire pour déclencher des mécanismes de séparation ou de défaillance dépend de l'efficacité de leur conception et du nombre de mécanismes à activer. L'énergie absorbée par déformation plastique ou élastique de la structure dépend beaucoup du choix du matériau : le volume sera supérieur pour les matériaux ductiles sous contraintes élevées. L'énergie (cinétique) nécessaire pour accélérer l'obstacle, ou une partie de l'obstacle, dépend de la vitesse de l'aéronef, laquelle ne constitue pas une variable de conception, ainsi que de la masse à accélérer. Par conséquent, la masse devrait être limitée, par exemple en utilisant des matériaux à masse faible et/ou en limitant le volume de la structure à accélérer, ce qui peut se faire en incorporant des mécanismes de séparation ou de défaillance adéquatement placés dans la structure.

4.1.5 Le dommage structurel subi par l'aéronef est aussi lié à la zone de contact entre l'aéronef et l'obstacle à travers laquelle le transfert d'énergie s'effectue. Il est prouvé qu'une zone de contact plus grande empêche les obstacles de s'enfoncer profondément dans la structure de l'aéronef. Cet aspect a une incidence sur la géométrie structurelle de l'obstacle.

## 4.2 MODE DE DÉFAILLANCE

4.2.1 Pour répondre aux spécifications relatives à la frangibilité, divers mécanismes de défaillance peuvent être introduits. Par exemple, les structures peuvent avoir une architecture modulaire qui, à l'impact, « ouvre une fenêtre » par laquelle l'aéronef peut passer, ou être conçues d'une pièce, de sorte qu'à l'impact elles ne se désintègrent pas mais sont entièrement poussées de côté par l'aéronef.

4.2.2 Dans le cas d'une architecture modulaire, la structure devrait être dotée de mécanismes de séparation ou de défaillance qui, séparément et ensemble, ne nécessitent qu'un volume minimal d'énergie pour être déclenchés. Ce moyen permet de n'avoir à déplacer qu'une moindre quantité de masse hors du chemin d'un aéronef en collision. La séquence des événements est plus facile à prédire car la structure est friable, se désintégrant de préférence sous l'effet de faibles flexions. Cette caractéristique réduit aussi au minimum la possibilité d'« enveloppement ». Cependant, dans ce cas, les fragments qui se séparent peuvent aussi heurter d'autres parties de l'aéronef qui franchissent le point d'impact un peu plus tard.

4.2.3 Dans le cas d'une construction d'une pièce, la frangibilité doit être garantie par une défaillance complète de la structure, ce que l'on obtient grâce à une défaillance aléatoire de membres de la structure plutôt que par une défaillance de mécanismes prédéterminés de séparation ou de défaillance. Cela signifie en bout de ligne que la totalité de la structure intervient à l'impact et que, par conséquent, il faut une valeur relativement élevée d'énergie cinétique pour la déplacer hors du chemin. Ce type de mécanisme de défaillance semble donc n'être adapté qu'aux structures peu chargées, c'est-à-dire à celles qui sont destinées à soutenir des matériels à faible masse. De plus, en raison du caractère stable de la structure, la séquence des événements est difficile à prédire et la tendance à « envelopper » l'aéronef devrait être considérée comme un risque supplémentaire.

## 4.3 CHARGE D'IMPACT

La charge d'impact est une charge dynamique qui varie rapidement et dure peu. Les durées de chargement et de réaction types se calculent en millièmes de secondes. La charge d'impact agit de deux façons sur les performances de frangibilité. Tout d'abord, la charge d'impact maximale peut avoir une incidence néfaste sur l'intégrité structurelle de l'aéronef. Ensuite, l'intégrale de la charge d'impact par rapport à la durée de l'impact entraîne une modification de l'élan (y compris de la direction) de l'aéronef.

## 4.4 TRANSFERT D'ÉNERGIE

4.4.1 Lors d'un impact, l'énergie est transférée de l'aéronef à l'obstacle. Étant donné que le dommage subi par l'aéronef est fonction de l'énergie transférée, ce transfert devrait être limité. L'énergie nécessaire est estimée comme suit :

- a) l'énergie nécessaire pour causer la fracture d'un mécanisme de séparation est déterminée en laboratoire sur une échelle des composants ; ce volume d'énergie doit être multiplié par le nombre de mécanismes à fracturer ;
- b) l'énergie nécessaire pour une déformation plastique et/ou élastique est calculée ou déterminée par des tests simples ; cette énergie est souvent négligeable lorsque l'on utilise des matériaux rigides et friables dans une architecture modulaire ;
- c) l'énergie cinétique nécessaire pour l'accélération des fragments, ou la structure totale dans le cas d'une construction d'une pièce, est calculée en utilisant la masse connue et la vitesse représentative de l'aéronef.

4.4.2 L'estimation devrait être effectuée pour tous les différents scénarios d'impact d'un aéronaf sur une structure.

## 4.5 CONCEPTS DE FRANGIBILITÉ

### Généralités

4.5.1 La structure frangible devrait intégrer des concepts tels que les membres à faible masse, les membres et connexions friables ou à faible résistance et/ou les mécanismes de séparation appropriés. Il existe divers concepts de fabrication présentant chacun ses avantages et ses inconvénients. La conception peut intégrer un ou plusieurs concepts pour garantir la frangibilité.

### Raccords fragibles

4.5.2 Lorsque les raccords sont conçus pour être fragibles, la frangibilité est intégrée au raccord, lequel soutient la charge de la construction mais se brise à l'impact. Le membre structurel n'est pas conçu pour briser mais plutôt pour transmettre la force d'impact au raccord. Un membre rigide et léger présente une capacité efficace de transmission de la charge au raccord et limite l'énergie absorbée par flexion ainsi que l'accélération de la masse. Le raccord devrait casser à de faibles niveaux d'énergie, lesquels sont déterminés par des essais d'impact. Parmi les raccords fragibles, on trouve les boulons à rétrécissement ou boulons fusibles, les boulons en matériau spécial ou en alliage, les rivets affleurants (à tête fraisée) ou les fixations à déchirement et les plaques-goussets à sections séparables. Certains de ces éléments se décrivent comme suit :

- a) *Boulons fusibles.* La défaillance de ce type de raccord est provoquée en prévoyant un « concentrateur de contraintes », obtenu en amincissant le matériau sur la tige de l'écrou. L'une des méthodes utilisées consiste à façonner une gorge pour réduire le diamètre du boulon ou à façonner des plats sur les côtés du boulon, le rendant ainsi plus faible dans une direction spécifique. La résistance au cisaillement est préservée et la résistance à la traction est réduite en usinant un trou à travers le diamètre du boulon et en le plaçant hors du plan de cisaillement. Les boulons fusibles doivent être soigneusement placés de façon à ne pas être endommagés ou subir un stress excessif lorsqu'ils sont vissés. Le problème des boulons fusibles est que le concentrateur de contraintes peut réduire la longévité à la fatigue du boulon ou propager la contrainte sous l'effet des charges normales et provoquer une défaillance prématurée. Les boulons fusibles dotés de gorges sont disponibles dans le commerce. La Figure 4-1 illustre l'application de ce type de boulons fusibles.
- b) *Boulons en matériau spécial.* L'utilisation de fixations fabriquées à l'aide de matériaux spéciaux élimine la nécessité de longs travaux d'usinage ou de fabrication et permet de recourir à des techniques classiques rentables pour la conception de base. Les fixations sont calibrées pour supporter les charges types mais sont faites de matériaux ayant une faible résistance à l'impact. Les matériaux tels que l'acier, l'aluminium et le plastique devraient être sélectionnés en se fondant sur leur résistance et sur leur élongation minimale en défaillance. Les boulons en aluminium d'alliage 2024-T4 ANSI sont recommandés car ils sont aussi résistants que des boulons en acier inoxydable mais n'offrent que 10 % d'élongation ultime comparativement aux 50 % de l'acier inoxydable. Les boulons en plastique peuvent avoir de faibles valeurs d'élongation mais leur résistance devra être établie à l'aide d'épreuves. Étant donné que la frangibilité est fondée sur la sélection des matériaux, il est extrêmement important d'acheter des matériaux dont les propriétés physiques sont garanties.

- c) *Fixations à déchirement.* Des fixations telles que des rivets affleurants peuvent être utilisées pour supporter des charges en cisaillement mais pour déchirer le matériau de base si la force d'impact crée une charge de traction. Le trou dans le matériau de base est usiné avec précision pour serrer une part minimale de la surface sous la tête de la fixation. Le cône de la tête affleurante aide aussi à déclencher l'arrachement. Cette technique dépend beaucoup du processus de fabrication et nécessite un contrôle très étroit de la qualité.
- d) *Sections arrachables.* Des plaques-goussets de raccord peuvent être conçues avec des encoches qui s'arracheront avec le membre. Dans ce type de raccord, la fixation ne se brise pas mais elle est au contraire utilisée pour arracher une section de la plaque-gousset. La vie en fatigue et la qualité de fabrication sont des considérations centrales pour ce type de conception.

### Membres frangibles

4.5.3 Dans cette conception, c'est le membre structurel qui doit avoir une défaillance et non pas la fixation de base. Le membre devrait se séparer par segments sur sa longueur, ce qui diminue la quantité d'accélération de masse et réduit les risques d'enveloppement. Des matériaux friables tels que du plastique, de la fibre de verre ou autres matériaux non métalliques sont mieux adaptés que les métaux. Le principal avantage des membres frangibles réside dans le fait que les forces à l'impact n'ont pas à être répercutées sur le raccord pour que la section lâche. Cela signifie que l'énergie n'est pas absorbée par flexion du membre comme c'est le cas dans la conception avec un raccord frangible. L'inconvénient est que les matériaux spéciaux non métalliques nécessitent de longues épreuves pour établir les propriétés à utiliser aux fins de l'analyse de flexion de la structure. L'analyse doit aussi être confirmée en procédant à des essais de charge grandeur nature sur la structure. Les matériaux non métalliques doivent aussi contenir des inhibiteurs aux ultraviolets pour les protéger contre l'environnement.

4.5.4 On peut produire des extrusions en plastique et des sections en fibre de verre moulée ayant des formes en angle ou la forme de tubes. Les membres peuvent aussi être fabriqués spécifiquement pour y intégrer des points de cassure. On obtient ce résultat en liant un matériau à l'autre à certains points sur la longueur du membre. Les points de liaison deviennent alors la ligne de déclenchement de la fracture dans le membre.

### Mécanisme frangible

4.5.5 La frangibilité peut être intégrée au montant au moyen d'un mécanisme qui glisse, casse ou se plie à l'impact, et annule ainsi l'intégrité structurelle du montant. Un mécanisme frangible peut être conçu pour résister à de fortes charges du vent mais demeurer très sensible aux charges à l'impact. Les mécanismes frangibles ont tendance à être directionnels en résistance, c'est-à-dire qu'ils ont une forte résistance en traction et en flexion mais très peu en cisaillement.

4.5.6 Les joints à frottement utilisés comme mécanismes frangibles peuvent assurer une résistance élevée, normale pour la surface de glissement, mais ils glissent lorsque la force est appliquée en parallèle à la surface de glissement. Dans une structure de soutien, les forces d'impact sont essentiellement horizontales. Les joints à frottement devaient être conçus de façon que le plan de glissement soit horizontal et qu'une défaillance complète survienne s'il y a impact provenant de toute direction sur ce plan. On obtient ce résultat en utilisant des couplages à rebord à l'extrémité des pattes du mât ou des tubes interreliés qui se séparent à l'impact.

4.5.7 Des membres de montant escamotables peuvent aussi être utilisés comme mécanismes frangibles. Ils sont incorporés dans la structure pour assurer la stabilité mais s'ils se brisent à l'impact, la structure devient instable de sorte qu'elle peut se casser. Ce type de conception peut toutefois nécessiter de déplacer d'importantes masses hors de la voie avant qu'il y ait défaillance.



**Figure 4-1. Boulon fusible**

4.5.8 Toute conception faisant appel à des mécanismes frangibles doit garantir qu'aucun glissement ni aucune modification de forme ne survient en raison d'une charge cyclique. Par exemple, dans une conception faisant appel à des tubes interreliés, le décollement de tourbillon sur un tube, provoqué par le souffle des réacteurs ou par le vent, pourrait donner du jeu ou séparer un tube d'un autre.

#### **4.6 MÉCANISMES DE SÉPARATION OU DE DÉFAILLANCE**

Les mécanismes de séparation ou de défaillance devraient être placés de manière que la désintégration produise des éléments d'une masse et d'une taille prévisibles qui, en cas d'impact secondaire, ne constituent pas un risque plus grand que ce n'était le cas lorsqu'ils formaient la structure non endommagée. Il est souhaitable que les mécanismes de séparation ou de défaillance soient indépendants de la force nécessaire pour supporter des charges de vent, de glace ou autres charges environnementales. De plus, le mécanisme ne devrait pas avoir de défaillance prématurée en fatigue.

## 4.7 SÉLECTION DES MATÉRIAUX

4.7.1 Les matériaux et la configuration des structures frangibles devraient être adaptés à l'utilisation prévue et produire la structure la plus légère possible. Les structures peuvent être fabriquées à l'aide de matériaux métalliques ou non métalliques sur lesquels les conditions environnementales extérieures n'ont pas d'effet néfaste. Le matériau choisi pour répondre aux spécifications de frangibilité devrait être solide et léger et avoir une faible énergie de déformation à la rupture. Le poids minimum est important pour s'assurer que la quantité d'énergie dépensée pour accélérer la masse à la vitesse de l'aéronef à l'impact est la plus faible possible. En termes généraux, la solidité est définie comme la capacité d'un matériau à résister à la rupture sous des charges dynamiques. L'énergie de déformation à la rupture est la quantité ultime d'énergie en volume qu'un matériau peut absorber, et elle est déterminée en mesurant la surface dans le diagramme effort-déformation défini pour une défaillance. Le Tableau 4-1 énumère quelques-unes des propriétés courantes des matériaux métalliques types.

4.7.2 Les matériaux standard disponibles dans le commerce permettent la conception la plus rentable du point de vue coût-efficacité. Les matériaux non métalliques peuvent être spécifiquement conçus pour assurer d'excellentes caractéristiques de frangibilité ; cependant, leur comportement structural peut être difficile à analyser en raison de l'incertitude qu'il y a en ce qui concerne leur module d'élasticité ou leur isotropie. Tous les matériaux doivent être capables de supporter les effets environnementaux ou être protégés contre ces effets, y compris le vieillissement climatique, les rayonnements solaires, les variations de température, etc., typiques d'un environnement extérieur.

## 4.8 ÉLÉMENTS ÉLECTRIQUES

4.8.1 Les matériels ou éléments électroniques et les montants devraient être conçus de façon à être frangibles tout en garantissant que les fonctions opérationnelles ne sont pas diminuées. Il est recommandé que les matériels électroniques, etc., soient placés sous le niveau du sol, si possible.

4.8.2 La résistance des conducteurs électriques incorporés à la conception des structures frangibles de même que le risque d'incendie que présente la production d'arcs électriques des conducteurs rompus devront être pris en compte. Il est recommandé que les conducteurs soient conçus de façon à ne pas rompre mais plutôt à casser à des endroits prédéterminés, dans les limites de la frangibilité de la structure.

**Tableau 4-1. Propriétés des matériaux métalliques types**

<i>Matériau</i>	<i>Densité (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Limite d'élasticité (MPa)</i>	<i>Résistance à la rupture (MPa)</i>	<i>Allongement à la rupture (mm/mm)</i>	<i>Énergie de déformation à la rupture (MPa)</i>
Acier doux	7 850	240	413	0,35	114
Fonte	7 190	41	138	0,05	4,5
Aluminium ANSI 6061-T6	2 710	276	310	0,12	35
Aluminium ANSI 2024-T4	2 710	275	275	0,10	35

On obtient ce résultat en prévoyant des raccords qui, pour se séparer, nécessitent un effort de traction inférieur à celui qui est nécessaire pour rompre le conducteur. De plus, les raccords devraient être protégés par un boîtier amovible de dimensions correspondant au voltage employé, afin de contenir toute éventuelle production d'arcs au moment du débranchement. Les assemblages de raccords amovibles sont disponibles sur le marché.

## 4.9 CRITÈRES DE CONCEPTION POUR LA FRANGIBILITÉ

### Feux hors sol de bord de piste et de voie de circulation

4.9.1 **Vent.** Les dispositifs d'éclairage peuvent être exposés à des charges de vent extrêmes et/ou au souffle des réacteurs. Les aérodromes devraient s'assurer que les feux hors sol de piste et de voie de circulation sont capables de supporter les vitesses de souffle des réacteurs des aéronefs auxquels on s'attend normalement. Habituellement, ces vitesses sont de l'ordre de 480 km/h (260 kt) pour tous les feux d'intensité élevée ou moyenne et de 240 km/h (130 kt) pour tous les autres dispositifs d'éclairage hors sol (feux à faible intensité).

4.9.2 **Dispositif de rupture.** Chaque dispositif d'éclairage hors sol devrait avoir un point de rupture proche du point ou de l'emplacement où le feu est assujéti à la plaque de base ou au montant. Le point de rupture ne devrait pas être à plus de 38 mm au-dessus de la surface du sol et devrait céder avant que toute autre partie du dispositif ne soit endommagée. Le point de rupture devrait supporter un moment de flexion de 204 J sans défaillance mais se séparer de façon nette du montant avant que le moment de flexion n'atteigne 678 J. Cependant, certains dispositifs peuvent fléchir au lieu de se séparer. Dans ce cas, le dispositif ne devrait pas fléchir de plus de 25 mm par rapport à la verticale, sous la charge de vent spécifiée. Les dispositifs de rupture non métalliques devraient garantir les performances spécifiées par rapport à la gamme de températures nominales, avec une mise à la terre appropriée pour le dispositif d'éclairage correspondant.

### Panneaux de guidage pour la circulation de surface

*Note.— Les panneaux de guidage pour la circulation de surface comprennent des panneaux d'obligation, tels que des panneaux d'identification de piste, des panneaux de point d'attente de catégorie I, II et III, des panneaux de point d'attente avant piste, des panneaux de point d'attente sur voies de service et des panneaux d'entrée interdite de même que des panneaux d'indication, tels que des panneaux indicateurs de direction, des panneaux d'emplacement, des panneaux indicateurs de sortie de piste, des panneaux indicateurs de dégagement de piste et des panneaux indicateurs de décollage depuis une intersection.*

4.9.3 **Spécifications environnementales.** Les panneaux indicateurs, y compris tous les éléments nécessaires, devraient être conçus pour une utilisation continue à l'extérieur, dans les conditions ci-après :

- a) **Température.** Une gamme de températures ambiantes allant de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+55^{\circ}\text{C}$  ou de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $+55^{\circ}\text{C}$ , selon le cas.
- b) **Vent.** Exposition à des vitesses de vent et/ou de souffle de réacteurs allant jusqu'à 480 km/h (260 kt). Il est éventuellement acceptable de réduire les vitesses spécifiées, par exemple à 322 km/h (174 kt) ou 240 km/h (130 kt), selon l'emplacement prévu pour le panneau indicateur et l'utilisation de l'aéroport. Les vitesses de souffle des réacteurs varient en fonction de la poussée utilisée pour le décollage, la circulation de surface ou la mise en mouvement.

- c) *Pluie*. Exposition à des pluies battantes.
- d) *Neige et glace*. Exposition à la neige et à la glace, selon le cas.
- e) *Sel*. Exposition à des atmosphères chargées de sel, selon le cas.
- f) *Humidité*. Exposition à une humidité relative de 5 à 95 %, selon le cas.

4.9.4 **Construction des panneaux.** Les panneaux devraient être construits dans des matériaux légers et non ferreux et être conçus en vue d'une installation sur un socle de béton ou des fiches. Tout le matériel nécessaire des montants ou des supports devrait être considéré comme faisant partie du panneau pour ce qui est des considérations relatives à la frangibilité.

4.9.5 **Frangibilité.** Les panneaux devraient être frangibles. La masse d'ensemble d'un panneau, montant compris, devrait être limitée à 24,5 kg/m et la longueur totale d'un panneau ne devrait pas excéder 3 m. Si la totalité du message ne tient pas dans un panneau de 3 m, deux panneaux distincts montés côte à côte devraient être prévus. Les panneaux situés à proximité d'une piste ou d'une voie de circulation devraient être suffisamment bas pour permettre le dégagement des hélices et des fuseaux-moteurs des avions à réaction.

4.9.6 **Pattes des montants.** Les pattes des montants de chaque panneau devraient avoir des points frangibles situés à 50 mm ou moins au-dessus du socle en béton ou des fiches. Les points frangibles devraient supporter la charge spécifiée des souffles de réacteurs mais casser avant qu'une charge statique appliquée n'atteigne une valeur spécifiée (voir le § 3.2.3). Pour une charge de vent spécifiée de 322 km/h (174 kt), la cassure devrait se produire avant que la charge statique appliquée n'atteigne une valeur de 8,96 kPa.

4.9.7 **Panonceaux d'information.** Les panonceaux d'information et leurs montants devraient supporter au minimum la pression à laquelle les points frangibles cassent.

4.9.8 **Mécanisme de séparation.** Chaque mécanisme de séparation devrait porter une marque permanente indiquant le nom du fabricant (qui peut être en abrégé) et les dimensions du panneau auquel le mécanisme est destiné, au minimum.

### PAPI/APAPI et T-VASIS/AT-VASIS

4.9.9 **Vent.** Les PAPI/APAPI (PAPI simplifié) et les T-VASIS/AT-VASIS (T-VASIS simplifié) peuvent être exposés à des charges extrêmes de vent et/ou de souffle de réacteurs. Les aérodromes devraient veiller à ce que ces systèmes soient capables de supporter des vitesses de souffle des réacteurs provenant d'aéronefs dans les conditions d'exploitation normalement prévues. Les vitesses de vent atteignent souvent 480 km/h (260 kt) aux aérodromes utilisés par des aéronefs dont les vitesses de souffle des réacteurs sont élevées, et 240 km/h (130 kt) pour les autres aérodromes.

4.9.10 **Dispositions concernant les montants.** Les balisages lumineux devraient être montés aussi bas que possible et être frangibles. De plus, ils devraient avoir au minimum trois pattes de montants ajustables permettant de stabiliser le dispositif. Les pattes devraient comporter un montant et du matériel d'ajustement, un mécanisme de séparation, s'il y a lieu, ainsi que des collerettes permettant le montage sur une dalle de béton. Le matériel d'ajustement devrait être conçu pour éviter tout déplacement du système optique dû à des vibrations. D'autres systèmes de montants peuvent être proposés à condition qu'ils présentent des valeurs équivalentes en rigidité, en frangibilité et en possibilité d'ajustement.

### Balisateur lumineux d'approche

4.9.11 Comme il est défini dans l'Annexe 14, Volume I, Chapitre 5, les feux d'approche hors sol et leurs montants devraient être frangibles. Toutefois, lorsqu'un feu et son montant se trouvent dans la partie du balisage lumineux d'approche qui est située à plus de 300 m au-delà du seuil :

- a) et que la hauteur du montant dépasse 12 m, seuls les 12 m supérieurs devraient être frangibles ;
- b) et que le montant est entouré d'objets non frangibles, seule la partie du montant qui s'élève au-dessus des objets avoisinants devrait être frangible.

4.9.12 Divers mâts frangibles disponibles sur le marché sont présentés dans les Figures 4-2 à 4-5. Une station de balisage lumineux d'approche de conception rigide remplacée par de nouvelles structures frangibles est illustrée à la Figure 4-6, et un mât tubulaire en fibre de verre sur une structure rigide est présenté dans la Figure 4-7.

4.9.13 La Figure 4-8 présente un exemple de mâts de balisage lumineux d'approche dont les montants excèdent 12 m.



Figure 4-2. Mâts de balisage lumineux d'approche — structures de fibre de verre en treillis



**Figure 4-3. Mâts de balisage lumineux d'approche — mâts tubulaires en fibre de verre**

## Montants

4.9.14 **Vent.** Les montants devraient être conçus pour supporter les charges de vent et de glace habituelles pour les conditions locales, conformément aux normes nationales, lorsqu'ils sont installés avec tout l'équipement de balisage lumineux. Le montant ne devrait pas présenter de déformation permanente due à la charge du vent.

4.9.15 La pression type du vent peut être déterminée selon la formule suivante :

$$P = 0,0000475 \cdot V^2$$

où P = pression en kPa ;  
V = vitesse du vent en km/h.

La pression nominale du vent est indépendante de la forme du montant. Les niveaux de pression nominale pour des vents et/ou des souffles de réacteurs de 480 km/h (260 kt), 322 km/h (174 kt) et 240 km/h (130 kt) sont de 11,52 kPa, 5,12 kPa et 2,88 kPa, respectivement.



Figure 4-4. Mâts de balisage lumineux d'approche — structures d'aluminium en treillis



Figure 4-5. Gros plan d'un mât de balisage lumineux d'approche — structures d'aluminium en treillis



**Figure 4-6. Station de balisage lumineux d'approche de conception rigide (à gauche) remplacée par de nouvelles structures frangibles (à droite)**



**Figure 4-7. Mâts tubulaires en fibre de verre sur structure rigide**



Figure 4-8. Mâts de balisage lumineux d'approche en fibre de verre sur montants rigides

4.9.16 La charge totale du vent touchant un montant devrait être ajustée à la forme du montant en se fondant sur un coefficient de forme, le cas échéant.

4.9.17 **Souffle des réacteurs.** L'emplacement habituel des feux d'approche hors sol et de leurs montants est tel que les charges de souffle des réacteurs ne puissent excéder les charges environnementales. Les aérodromes devraient évaluer les besoins locaux spécifiques concernant les montants des balisages lumineux qui peuvent être touchés par le souffle des réacteurs.

4.9.18 **Déflexion.** La déflexion du faisceau lumineux ne devrait pas être supérieure à  $\pm 2$  degrés dans l'axe vertical et à  $\pm 5$  degrés dans l'axe horizontal lorsque le montant est soumis à une vitesse du vent de 100 km/h (54 kt) et recouvert d'une couche de 12,5 mm de glace sur toutes ses surfaces.

4.9.19 Tout montant de balisage lumineux d'approche qui doit être frangible devrait être conçu pour supporter des charges de vent statiques et opérationnelles/limites selon un facteur adapté de sécurité, mais devrait casser, se déformer ou céder facilement lorsqu'il est soumis à des forces soudaines de collision provoquées par un aéronef de 3 000 kg en vol et se déplaçant à 140 km/h (75 kt), quel que soit le sens du déplacement. La structure doit casser, se déformer ou céder sans imposer de force ou d'énergie maximale, selon les dispositions du présent paragraphe, de même que celles des § 4.9.20 à 4.9.23. Après une collision, le montant ne devrait pas être emmêlé à l'aéronef de telle manière qu'il l'empêche de manœuvrer en toute sécurité soit en vol soit au sol. Les feux d'approche et les câblages correspondants soutenus par le montant devraient être considérés comme faisant partie du montant aux fins de la frangibilité.

4.9.20 Le montant ne devrait pas imposer à l'aéronef une force excédant 45 kN. L'énergie maximale transmise à l'aéronef par suite d'une collision ne devrait pas excéder 55 kJ sur la période de contact entre l'aéronef et le montant. Pour permettre à l'aéronef de passer, la défaillance du montant devrait s'opérer selon l'un des modes suivants :

- a) cassure ;
- b) ouverture ; ou
- c) pliage.

4.9.21 Le montant touché devrait céder le passage à l'aéronef de telle manière que celui-ci puisse réussir son atterrissage, son décollage ou son approche interrompue.

4.9.22 Tous les éléments du montant détachés à l'impact devraient avoir une masse aussi faible que possible afin de limiter les risques pour l'aéronef.

4.9.23 Le dispositif lumineux et le montant dans son ensemble devraient être pris en compte pour établir la frangibilité du système. Concernant le câblage, le concepteur devrait veiller à ce qu'il y ait des points de débranchement pour que la segmentation ne soit pas gênée, si tel est le mode de défaillance prévu.

### Montants pour ILS/MLS et autres aides non visuelles

4.9.24 **Vent.** Les aides non visuelles et leurs montants devraient être conçus pour supporter les charges de vent et de glace habituelles aux conditions locales, conformément aux normes nationales. Les montants ne devraient pas présenter de déformation permanente due à la charge du vent.

4.9.25 **Souffle des réacteurs.** L'emplacement habituel des aides non visuelles, telles que les appareils ILS et MLS (300 m au-delà de l'extrémité de la piste ou avec un décalage latéral de 120 m par rapport à l'axe de piste) est tel que les charges de souffle des réacteurs n'excèdent pas les charges environnementales. Si les exigences du terrain sont telles que le matériel doit être placé plus près de la piste, alors il convient d'évaluer les effets du souffle des réacteurs.

4.9.26 **Déflexion.** Les tolérances de déflexion pour les installations ILS et MLS devraient être conformes aux limites applicables de contrôle des systèmes pour chaque catégorie de performance d'installation. Pour de plus amples renseignements, prière de se reporter à l'Annexe 10, Volume I.

4.9.27 **Frangibilité.** Tout matériel ou installation nécessaire aux fins de la navigation aérienne qui doit être implanté :

- a) sur une bande de piste, une aire de sécurité d'extrémité de piste, une bande de voie de circulation ou aux distances spécifiées dans le Tableau 3-1 de l'Annexe 14, Volume I ; ou
- b) sur un prolongement dégagé et qui mettrait en danger un aéronef en vol ;

devrait être frangible et monté aussi bas que possible.

4.9.28 Tout matériel ou installation nécessaire aux fins de la navigation aérienne qui doit être implanté sur une bande de piste avec approche de précision de catégorie I, II ou III, ou à proximité d'une telle bande, et qui :

- a) est situé à moins de 240 m de l'extrémité de la bande et à une distance ne dépassant pas :
  - 1) 60 m du prolongement d'axe de piste lorsque le numéro de code est 3 ou 4 ; ou
  - 2) 45 m du prolongement d'axe de piste lorsque le numéro de code est 1 ou 2 ; ou
- b) fait saillie sur la surface d'approche intérieure, la surface intérieure de transition ou la surface d'atterrissage interrompu ;

devrait être frangible et monté aussi bas que possible.

4.9.29 De plus, tout matériel ou installation nécessaire aux fins de la navigation aérienne qui constitue un obstacle ayant une importance opérationnelle selon les dispositions des § 4.2.4, 4.2.11, 4.2.20 ou 4.2.27 de l'Annexe 14, Volume I, devrait être frangible et monté aussi bas que possible.

4.9.30 Les aides non visuelles qui doivent être frangibles devraient être conçues pour supporter des charges de vent statiques et opérationnelles/limites selon un coefficient adéquat de sécurité mais devraient casser, se déformer ou céder facilement lorsqu'elles sont soumises aux forces de collision soudaines d'un aéronef de 3 000 kg en vol se déplaçant à 140 km/h (75 kt), comme il est indiqué aux § 4.9.19 à 4.9.23.

4.9.31 Les installations ILS/MLS présentent des cas particuliers. Les dispositions des § 4.9.24 à 4.9.30 s'appliquent aux montants des installations ILS/MLS, mais les critères de conception correspondant à un avion de 3 000 kg ne peuvent être appliqués dans tous les cas pour les raisons suivantes :

- a) Les critères de conception retenus pour tenir compte d'un avion de 3 000 kg devraient être conservés pour le radiophare d'alignement de piste ILS. Les conceptions actuelles démontrent que l'on peut avoir recours à des structures légères pour de telles installations. La possibilité d'utiliser des conceptions modulaires, limitant ainsi la masse totale, devrait aussi être envisagée. La validation

des hypothèses relatives à l'énergie et l'établissement de valeurs pour limiter la masse nécessite une étude spéciale.

- b) Étant donné le caractère unique du montant qui supporte l'antenne de trajectoire de descente ILS, les critères de frangibilité n'ont pas encore été élaborés.
  - c) Il a été reconnu qu'en raison de sa masse importante, le caisson de l'émetteur des installations ILS ne pouvait être rendu frangible. Par conséquent, lorsque l'on prévoit d'installer un ILS, l'emplacement du caisson de l'émetteur pour l'alignement de piste de même que pour la trajectoire de descente devrait être soigneusement étudié. En aucun cas le caisson de l'émetteur pour l'alignement de piste ILS ne devrait être implanté dans la surface de sécurité d'extrémité de piste (ou son prolongement à une distance inférieure à 300 m par rapport à l'extrémité de piste). De toute façon, le décalage latéral du caisson de l'émetteur pour la trajectoire de descente ILS ne devrait pas être inférieur à 120 m par rapport à l'axe de piste. Lorsque c'est possible, le caisson de l'émetteur pour la trajectoire de descente ILS devrait être placé hors de la bande de piste.
  - d) Il a aussi été reconnu que les critères de conception se rapportant à un avion de 3 000 kg ne peuvent être appliqués aux installations MLS. L'antenne d'azimut MLS et l'antenne de site MLS de conception actuelle sont des matériels lourds et ne peuvent être rendues frangibles. C'est pourquoi ces installations devraient être placées de façon à présenter le moins de risque possible pour les aéronefs. L'antenne d'azimut MLS devrait être implantée aussi loin que possible de l'extrémité de piste et, dans tous les cas, à plus de 300 m. Lorsque c'est possible, l'antenne de site MLS devrait être implantée hors de la bande de piste.
  - e) La masse totale des antennes d'azimut MLS actuellement sur le marché pourrait se situer entre 200 et 700 kg. Les conceptions antérieures se sont révélées plus lourdes encore. C'est pourquoi la masse de l'antenne elle-même serait excessive et la question de la frangibilité de son montant serait sans objet si les critères de conception pour la frangibilité étaient les mêmes que ceux qui sont appliqués pour les mâts des balisages lumineux d'approche et autres structures légères de ce type. Par conséquent, si l'antenne d'azimut MLS et son montant de même que les autres systèmes lourds devaient être réglementés du point de vue de la frangibilité, les critères de conception devraient être redéfinis en se fondant sur des hypothèses plus réalistes.
-

# Chapitre 5

## ÉPREUVES DE FRANGIBILITÉ

### 5.1 GÉNÉRALITÉS

5.1.1 La présente section vise essentiellement à renforcer l'uniformité des procédures d'épreuve au moyen desquels les autorités intéressées peuvent déterminer si telle ou telle conception est conforme aux spécifications en matière de frangibilité.

5.1.2 La frangibilité de toute aide devrait toujours être prouvée avant que l'on envisage d'installer cette aide. Des épreuves à haute vitesse en grandeur réelle constituent une méthode éprouvée de vérification de la frangibilité. Les résultats des simulations numériques indiquent que cette approche permet de démontrer la frangibilité. Cependant, comme pour toute méthode de simulation numérique, le modèle et l'approche de simulation utilisés doivent être validés à cette fin en faisant une comparaison avec des données d'épreuves représentatives. Les méthodes de simulation numérique sont examinées dans le Chapitre 6.

5.1.3 En raison du nombre d'aides considérées et de la diversité des situations, les tests détaillés exposés dans le présent chapitre ne limitent en rien les épreuves qui peuvent être conduites et ne sont fournis qu'à titre d'indication générale.

5.1.4 Les épreuves statiques, par opposition aux épreuves dynamiques, sont considérées comme étant satisfaisantes pour la vérification de la frangibilité des aides visuelles de faible masse qui ont une hauteur totale égale ou inférieure à 1,2 m, comme par exemple les feux hors sol de piste et de voie de circulation, les panneaux de guidage de la circulation au sol et les indicateurs visuels de pente d'approche.

5.1.5 Il est recommandé de procéder à des épreuves dynamiques pour vérifier la frangibilité des aides de navigation qui ont une hauteur totale supérieure à 1,2 m et sont implantées à des endroits où elles sont susceptibles d'être heurtées par des aéronefs en vol. Il s'agit des mâts de balisage lumineux d'approche, des indicateurs de direction du vent, des transmissomètres, des antennes d'alignement de piste et de trajectoire de descente ILS et des systèmes d'azimut et de site d'approche MLS. Les antennes de trajectoire d'approche ILS et les systèmes d'azimut et de site d'approche MLS constituent des cas uniques en raison de la taille et de la masse des instruments et des montants. Les spécifications en matière de frangibilité devraient s'appliquer à ce type de matériel en général, mais elles sont peut-être trop contraignantes pour des structures d'une telle taille.

5.1.6 Ces procédures d'épreuve visent principalement à tester en grandeur réelle des structures représentatives. Ces structures devraient être fabriquées selon des techniques de production et avec des matériels adaptés. Dans le cas des nouveaux produits qui nécessitent des épreuves avant de déterminer les outils ou les procédures de production, des épreuves initiales peuvent être conduites sur un modèle de présérie afin de bien tenir en main l'approche de conception, mais l'acceptation finale de la conception doit être déterminée sur un modèle de production.

## 5.2 PROCÉDURES D'ÉPREUVE

### Feux hors sol de bord de piste ou de voie de circulation

5.2.1 **Dispositif de rupture.** Le fabricant devrait fournir des comptes rendus d'épreuve indiquant que le dispositif de rupture répond aux spécifications du § 4.9.2. Toutes les épreuves devraient être conduites sur un dispositif de balisage lumineux entièrement assemblé à la hauteur nominale et monté sur une base parfaitement assujettie. La charge devrait être appliquée sur le corps du dispositif en un point situé juste au-dessous de la lentille, à une vitesse ne dépassant pas 220 N par minute jusqu'à ce que l'on obtienne le moment de pliage minimal décrit au § 4.9.2. Après avoir déterminé que le dispositif de balisage lumineux supporte cette charge sans dommage, il convient de continuer à faire peser cette charge à la même cadence jusqu'à atteindre le point de rupture. Pour les dispositifs « à expulsion » ou autres dispositifs à ajustement serré, l'épreuve devrait être répétée dix fois sur le même dispositif pour contrôler le desserrement de l'attache. L'épreuve devrait être répétée sur un total de cinq montants fragibles. Les épreuves sur les dispositifs de rupture non métalliques devraient aussi être réalisées à des températures de  $-55\text{ °C}$  et de  $+55\text{ °C}$  ( $\pm 15\text{ °}$ ). Tout dispositif qui ne répond pas aux spécifications du § 4.9.2 ou qui est endommagé avant que le dispositif de rupture ne fonctionne devrait être rejeté. Dans le cas des dispositifs à ajustement serré, le fabricant devrait fournir des données sur le nombre d'« éjections » auxquelles on peut s'attendre avant que le dispositif ne se brise à un niveau inférieur à la valeur minimale de rupture.

### Panneaux de guidage de la circulation au sol

5.2.2 Tout panneau devrait être mis à l'épreuve pour s'assurer que ses performances répondent aux spécifications en matière de fragibilité tout en supportant les charges de vent indiquées au § 4.9.3, alinéa b).

5.2.3 **Charge du vent et épreuve de fragibilité.** Cette épreuve devrait être conduite comme suit :

- a) Le panneau devrait être testé pour sa capacité à supporter la charge de vent spécifiée. L'épreuve devrait être réalisée lorsque le panneau est entièrement assemblé et monté sur sa base. Si la charge du vent est appliquée à un panneau monté sur une surface verticale, le poids du panneau devrait être compris dans le poids total appliqué. L'épreuve devrait être conçue pour s'assurer que le panneau d'information reçoit la charge complète. Les panneaux montés sur ressorts devraient être bloqués pour éviter tout mouvement durant l'épreuve. Une charge statique devrait être appliquée uniformément sur toute la surface du panneau d'information durant dix minutes. Le panneau ne devrait pas casser aux points fragibles ni subir de déformation permanente. Pour une charge de vent spécifiée de 322 km/h (174 kt), la charge statique appliquée devrait être de 6,21 kPa.
- b) Après avoir conduit l'épreuve comme il est indiqué à l'alinéa a) ci-dessus, tout panneau qui répond aux spécifications relatives à la masse maximale indiquée au § 4.9.5 devrait être considéré comme fragile. Tout panneau qui ne répond pas à cette spécification de masse devrait subir de nouvelles épreuves conformes aux indications de l'alinéa c) ci-après.
- c) La charge statique sur le panneau d'information devrait ensuite être augmentée jusqu'à ce que le panneau casse aux points fragibles. La cassure devrait se produire avant que la charge statique appliquée n'atteigne une valeur spécifiée. Ensuite, le panneau d'information et ses montants devraient être inspectés pour déterminer les dommages. Toute cassure ou déformation justifie un rejet. Pour une charge de vent spécifiée de 322 km/h (174 kt), la cassure devrait se produire avant que la charge statique appliquée n'atteigne la valeur de 8,96 kPa.

5.2.4 Les panneaux montés sur ressorts peuvent aussi être testés en suivant la procédure décrite au § 5.2.5 ci-après.

5.2.5 **Panneaux montés sur ressorts.** Le panneau d'information étant protégé, le panneau devrait être testé pour en vérifier la frangibilité, conformément aux dispositions du § 5.2.3. Le panneau devrait ensuite être débloqué et soumis à une pression de cassure (la pression à laquelle les points frangibles cassent). L'angle de rotation du panneau ( $\theta$ ) provoqué par la pression (pression de cassure) devrait être mesuré. La pression (pression de rotation) devrait ensuite être calculée comme suit : Pression de rotation = Pression de cassure \*  $\cos \theta$ . Le panneau étant de nouveau bloqué et la protection retirée du panneau d'information, la pression de rotation devrait être appliquée de façon uniforme sur la totalité de la surface du panneau d'information durant une minute. Le panneau d'information et son montant devraient ensuite être inspectés pour vérifier s'il y a des dommages. Toute cassure ou déformation devrait entraîner le rejet du panneau.

### PAPI/APAPI et T-VASIS/AT-VASIS

5.2.6 **Charge due au vent.** Le fabricant devrait démontrer à l'aide d'essais en soufflerie ou d'une charge statique que le système supportera la charge due au vent spécifiée au § 4.9.9, en provenance de toutes directions en azimut, sans que le déplacement du système optique ne dépasse ce qui est autorisé dans l'épreuve de rigidité.

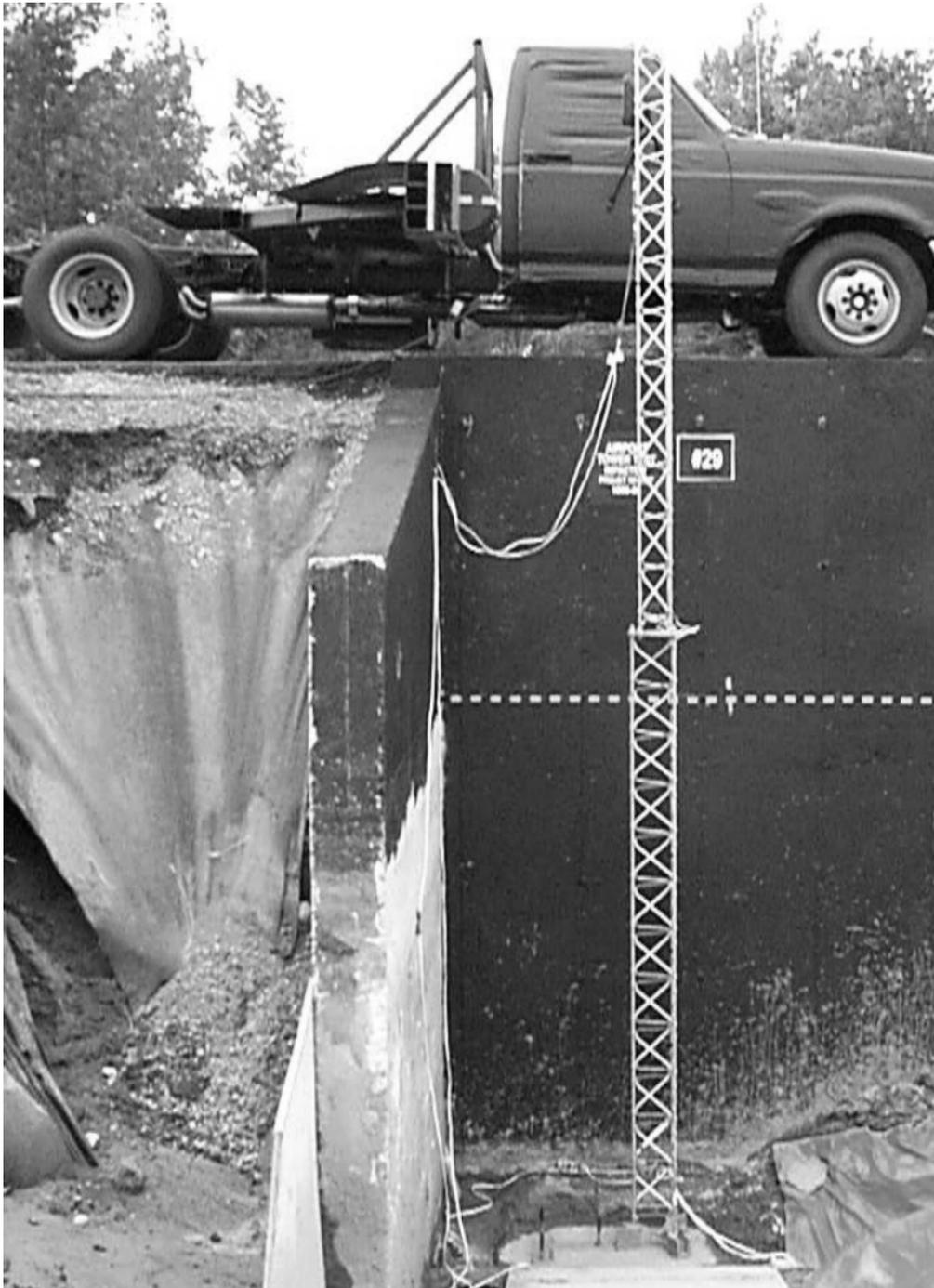
5.2.7 **Épreuve de frangibilité.** Le fabricant devrait démontrer la frangibilité des pattes du montant.

### Mâts de balisage lumineux d'approche et structures similaires

5.2.8 **Épreuve de frangibilité.** Des épreuves dynamiques devraient être conduites pour vérifier la frangibilité des aides de navigation, telles que les mâts de balisage lumineux d'approche, qui ont une hauteur totale de plus de 1,2 m et qui sont implantés dans des endroits où ils sont susceptibles d'être heurtés par un aéronef en vol. Il est souhaitable que les épreuves soient réalisées de manière que les conditions dans lesquelles la structure pourrait en fait être heurtée soient simulées en se fondant sur le pire des cas. À cette fin, les épreuves devraient être conduites au moyen d'un impacteur sur véhicule ayant une masse représentative équivalente au poids de l'aide qu'il est prévu de monter au sommet du mât. La Figure 5-1 illustre une installation permettant de tester des mâts de balisage lumineux d'approche.

5.2.9 **Impacteur de référence.** Un grand nombre d'épreuves d'impact sur les mâts de balisage lumineux d'approche ont été réalisées. Les comptes rendus de ces épreuves sont signalés dans les références fournies à la fin du présent manuel. Divers types de conception d'impacteurs ont été étudiés en procédant à des impacts sur des mâts de différentes conceptions, tels que des impacteurs reproduisant, autant que faire se peut, la structure, la résistance et la rigidité de l'aile d'un avion de 3 000 kg, de même que des impacteurs rigides faits de tubes d'acier à parois épaisses. Des épreuves à haute vitesse (140 km/h [75 kt]) représentant un impact en vol, des épreuves à vitesse intermédiaire (80 km/h [43 kt]) et des épreuves à faible vitesse (50 km/h [30 kt]) représentant des aéronefs circulant au sol ont été conduites.

5.2.10 On a aussi procédé à des épreuves pour déterminer l'effet de la rigidité de l'impacteur sur les paramètres clés de la frangibilité tels que la force d'impact maximal, la durée de contact et la modification maximale d'énergie par rapport à la durée de contact. L'analyse des résultats indique qu'un impacteur rigide donne une estimation prudente de la force maximale à l'impact et une énergie équivalente par rapport à la durée de contact. La durée de contact est par ailleurs similaire pour tous les types d'impacteurs et de conception de mâts, c'est-à-dire 100 millisecondes. On a constaté notamment que le mât ne demeure pas indéfiniment en contact avec l'impacteur. La séparation rapide du mât permet à l'avion de poursuivre sa route sans qu'il y ait possibilité d'impact secondaire.



**Figure 5-1. Exemple d'installation pour tester des mâts de balisage lumineux d'approche avec un impacteur transporté sur un véhicule**

5.2.11 À la suite de ces analyses, la conception recommandée pour un impacteur est celle d'un tube semi-circulaire « rigide », de 1 000 mm ou correspondant à cinq fois la dimension maximale de la coupe transversale, la plus grande de ces valeurs étant retenue. Le diamètre extérieur du tube devrait être d'environ 250 mm et l'épaisseur de la paroi devrait être suffisamment importante pour constituer un corps rigide n'ayant pas moins de 25 mm. Le matériau utilisé pour l'impacteur devrait être l'acier. Le fini de la surface devrait être généralement lisse et il n'est pas nécessaire de prévoir un revêtement.

5.2.12 L'utilisation d'un impacteur rigide est recommandée pour obtenir des données représentatives ou prudentes lors d'épreuves d'impact à haute vitesse en grandeur réelle. Un impacteur rigide est moins coûteux à fabriquer, n'exige pas le raffinement de fabrication d'une section d'aile ni la précision liée aux matériaux et/ou à la méthode d'une telle fabrication. De plus, il peut être réutilisé sans modification pour des épreuves répétitives étant donné qu'il est peu probable qu'il survienne une déformation plastique et un déchirement de l'enveloppe d'une section d'aile représentative.

5.2.13 L'impacteur rigide doit être fermement assujéti sur le véhicule servant à l'épreuve pour garantir que l'interface durant l'impact est bien celle d'une section rigide. Des cellules de mesure devraient être placées entre l'impacteur et l'interface sur le véhicule, aussi près que possible de l'emplacement du montage pour enregistrer la durée et la force de l'impact. Un nombre suffisant de cellules de mesure devraient être utilisées pour veiller à ce que tous moments générés sur l'impacteur, dus aux impacts décalés par rapport à son axe ou à des forces de réaction, et les moments du mât sur son montant sont enregistrés et évalués. L'énergie par rapport à la durée de contact est calculée par intégration de la force d'impact par rapport à la distance.

5.2.14 **Procédure d'épreuve.** L'épreuve devrait être réalisée à une vitesse de 140 km/h (75 kt). L'impacteur devrait être monté sur le véhicule de manière qu'il heurte la structure à un point situé approximativement à 4 m au-dessus du sol ou à 1 m au-dessous du haut de la structure, le point le plus élevé étant retenu. Une masse représentative équivalente au poids de l'aide prévue devrait être montée au haut du mât. Tous les fils et les câbles nécessaires à l'aide devraient aussi être montés et assujéti. La hauteur totale du mât devrait être mesurée à partir du sol et comprendre à la fois le montant et la masse représentative.

5.2.15 L'impact devrait être enregistré à l'aide d'une caméra ou d'un caméscope haute vitesse de façon à révéler le caractère de la défaillance. Étant donné la courte durée de l'impact, il est impossible de contrôler visuellement la séquence d'impact et la déformation. Par ailleurs, la déformation après impact est très différente de celle à l'impact.

5.2.16 La vitesse d'impact devrait demeurer constante durant l'impact et être enregistrée avec précision et directement à partir du véhicule en mouvement, au moment de l'impact.

5.2.17 Il conviendrait que le moyen et la vitesse d'enregistrement soient suffisants pour enregistrer de façon précise les données à partir des cellules de mesure durant les épreuves d'impact. Il est recommandé qu'une vitesse d'enregistrement d'au moins 10 kHz soit utilisée pour capter la force maximale d'impact qui survient dans une fourchette de 2 à 5 millisecondes.

5.2.18 **Critères d'acceptation/de rejet.** Un mât de balisage lumineux d'approche devrait être considéré comme « frangible » s'il répond aux dispositions des § 4.9.19 à 4.9.23.

5.2.19 D'autres critères, fondés sur une inspection visuelle, devraient aussi être employés pour déterminer si la structure est acceptable ou doit être rejetée :

- a) Dans le cas des mâts qui peuvent être heurtés par des aéronefs en vol, il est souhaitable de ne pas seulement limiter au minimum les dommages causés à l'aéronef mais aussi de ne pas compromettre

de façon significative la trajectoire de vol. Le mât heurté devrait céder le passage à l'aéronef de façon qu'il puisse tout de même atterrir ou continuer la procédure de décollage. La partie du mât au-dessus du point d'impact ne devrait pas s'agripper à l'aile de l'aéronef alors que la partie inférieure demeure attachée à la fondation, modifiant ainsi de beaucoup la direction de l'aéronef. Les mâts qui « s'enroulent autour » de l'aile d'un aéronef ne constituent pas nécessairement un risque s'il y a segmentation ou si la partie inférieure se détache de la fondation et est emportée par l'aéronef. La réaction du mât à l'impact est fonction non seulement de la structure mais aussi des autres éléments qui font partie de l'installation. Dans le cas des câbles, le concepteur devrait s'assurer qu'il y a des points de débranchement de façon que la segmentation ne soit pas gênée.

- b) À l'impact, le mât peut se fragmenter en plusieurs éléments. La masse de ces éléments et la manière dont ils se détachent ne devraient pas causer de risque secondaire pour l'aéronef (par exemple pénétrer à travers le pare-brise, le fuselage, les surfaces de queue).
- c) Dans le cas de structures qui peuvent être heurtées par des aéronefs au sol, on peut accepter de plus grands dommages que ce qui est toléré pour les objets heurtés par des aéronefs en vol. Étant donné que les aéronefs sont déjà au sol, l'objectif premier est d'éviter les blessures ou les pertes de vie.

#### **Indicateurs de direction du vent/transmissomètres/ mesureurs à balayage vers l'avant**

5.2.20 Les montants des indicateurs de direction du vent, des transmissomètres et des mesureurs à balayage vers l'avant devraient être testés pour en déterminer la frangibilité, conformément aux procédures applicables aux mâts de balisage lumineux d'approche.

#### **Structures ILS/MLS**

5.2.21 Aucune épreuve à échelle réelle n'a été réalisée jusqu'ici pour établir des critères de conception et des procédures d'épreuve afin de déterminer la frangibilité des structures ILS/MLS. Néanmoins, il est prévu d'installer de nombreux nouveaux ILS ainsi qu'un nombre limité de nouveaux MLS (en particulier en Europe de l'Ouest) au cours des 10 à 15 prochaines années. En raison de leur emplacement dans l'aire de dépassement de piste et dans l'aire de prise de terrain trop courte, le radiophare d'alignement de piste ILS et l'antenne d'azimut MLS constituent un risque plus élevé pour les vols que l'antenne de trajectoire de descente ILS et l'antenne de site MLS implantées sur la bande de piste à une certaine distance de l'axe (normalement 120 m). L'exigence d'une épreuve à haute vitesse et à échelle réelle au moyen d'un impacteur rigide a été mise en place pour les mâts légers dont la partie supérieure a une masse minimale, mais elle est inapplicable aux différents types de structures ou de mâts dont la partie supérieure a une masse plus élevée. En conséquence, une solution de rechange doit être trouvée pour les épreuves à échelle réelle permettant d'évaluer la frangibilité de ces structures.

5.2.22 Nonobstant ce qui précède, les critères de conception se rapportant aux avions de 3 000 kg devraient être conservés pour le radiophare d'alignement de piste ILS. Comme il est indiqué au § 4.9.31, les conceptions actuelles prouvent que les structures légères peuvent être employées pour ce type d'installation. La possibilité de recourir à des conceptions modulaires, limitant ainsi la masse totale, devrait aussi être envisagée. La validation des hypothèses concernant l'énergie et l'élaboration de valeurs pour la limite de masse nécessitent une étude particulière.

5.2.23 Il n'est pas envisagé que des épreuves à échelle réelle soient conduites dans l'avenir sur les installations ILS/MLS et leurs montants. Par conséquent, en attendant que des modèles informatisés soient

développés plus avant, les procédures de vérification et les critères d'acceptation de ces installations ne peuvent être spécifiés. Il est donc recommandé que, dans les cas où une conception frangible de l'équipement n'est pas possible ou compromet les performances opérationnelles prévues par les spécifications établies, l'équipement soit réimplanté ou placé d'une autre manière de façon à ne pas constituer un risque pour les aéronefs. En général, lorsque la réimplantation n'est pas possible, les installations devraient être rendues aussi légères que possible. En particulier, il conviendrait de tenir compte de la possibilité de placer les éléments de façon à limiter le nombre et/ou la masse des obstacles sur les aires qui doivent être conservées libres de tout objet, à l'exception des équipements et des installations fragibles nécessaires à la navigation aérienne.

### **5.3 ÉPREUVES CONDUITES PAR LES FABRICANTS ET LES ORGANISMES D'ESSAI**

5.3.1 Certaines des épreuves à échelle réelle décrites dans le présent chapitre sont complexes et nécessitent d'importants investissements en installation et en instrumentation. Néanmoins, on envisage que ces épreuves soient conduites par les fabricants car c'est à eux qu'incombe la responsabilité de tester les conceptions de leurs produits.

5.3.2 Les épreuves à échelle réelle décrites dans les § 5.2.8 à 5.2.17, concernant les mâts de balisage lumineux d'approche, sont dans les possibilités des organismes d'essai indépendants reconnus.

---



## Chapitre 6

# MÉTHODES DE SIMULATION NUMÉRIQUE POUR L'ÉVALUATION DE LA FRANGIBILITÉ

### 6.1 GÉNÉRALITÉS

6.1.1 Le coût et la complexité des épreuves simplifiées sur le terrain pour déterminer la frangibilité demeurent élevés, en plus de nécessiter beaucoup de temps. De plus, il n'est pas possible de tester toutes les combinaisons de vitesse, direction, altitude, etc., étant donné le grand nombre de conceptions à la fois des structures des aides de navigation et des aéronefs. Enfin, il est préférable d'obtenir une technique de validation qui peut être utilisée pour aborder toutes les questions, modifications et faits nouveaux qui peuvent survenir dans l'avenir. Par conséquent, d'autres méthodes peuvent être employées pour évaluer la frangibilité des structures aux aéroports.

6.1.2 Les moyens et la puissance de calcul modernes ont permis de faire avancer la conception structurelle et l'analyse grâce au recours à des logiciels capables de prédire avec beaucoup de précision la réaction d'une structure. Ces approches sont généralement classées soit comme approches par éléments finis soit comme approches par différences finies. De plus, ces programmes informatiques ont été améliorés pour inclure des analyses dynamiques transitoires durant un impact, en plus de permettre une analyse détaillée de structures très complexes. Plusieurs importants programmes informatiques ont été mis au point récemment et ont produit d'excellents résultats. La confiance dans ces approches continue de croître au point que d'importants efforts de conception, y compris en ce qui concerne les gros aéronefs de transport et les véhicules motorisés, se fondent désormais sur l'analyse pour un volume croissant de vérifications des conceptions. Malheureusement, chaque logiciel pour l'analyse structurelle a des caractéristiques uniques dont les performances sont renforcées aux dépens des autres. De plus, il est généralement accepté que de tels modèles analytiques doivent encore être vérifiés par une série d'épreuves représentatives sur le terrain.

### 6.2 ANALYSES

6.2.1 Des analyses sont actuellement effectuées sur ordinateur pour faciliter la vérification de la frangibilité des structures dans les aéroports. L'objectif est d'élaborer et de démontrer la capacité de modéliser de façon précise une structure typique d'aéroport en comparant les résultats prévus aux données des épreuves d'impact à échelle réelle. Une fois vérifiés, ces modèles peuvent être utilisés pour enquêter sur d'autres configurations et paramètres d'impact afin d'évaluer la performance de la structure. Les modèles peuvent aussi être utilisés pour interpoler les données des épreuves et obtenir des conditions nouvelles ou variées, et extrapoler le résultat pour mieux prédire le comportement et les performances des structures. L'objectif ultime est d'être capable d'établir des moyens et une certaine confiance pour modéliser des situations et des structures nouvelles et différentes grâce à une analyse. Cependant, il est peu probable que cet objectif puisse être atteint dans un avenir proche même si l'objectif initial de l'interpolation et d'une extrapolation mineure est envisageable.

6.2.2 **Modélisation détaillée.** Pour l'une des approches de modélisation analytique de l'impact, on utilise des programmes par analyse par éléments finis (AEF) qui ont donné de bons résultats et qui sont disponibles sur le marché. Ces programmes sont en vente et présentent des caractéristiques particulières

telles que des préprocesseurs et des postprocesseurs qui facilitent l'analyse des modèles produits et des données. Des programmes AEF explicites et non linéaires sont utilisés pour l'analyse des impacts et pour les déformations importantes, en raison de leur capacité à poursuivre l'analyse au-delà de la « rupture » prédite des éléments qui composent le modèle. Ces modèles comportent généralement de nombreux membres standard de forme, de degré de liberté et de complexité divers. Les propriétés non linéaires des éléments, l'analyse dynamique transitoire, les éléments de contact et les éléments discontinus font partie des caractéristiques qui permettent la modélisation de situations réelles. De plus, ces programmes permettent de modéliser l'interaction complexe qui survient à l'interface du contact ainsi qu'à l'intérieur du modèle de la structure. Des exemples de modèles AEF tridimensionnels de mâts de balisage lumineux d'approche sont illustrés dans la Figure 6-1.

**6.2.3 Modélisation intermédiaire.** L'AEF offre une conception détaillée et une orientation des conditions de conception, un comportement d'interaction locale, une précision de la conception et une application des éléments spécifiques. L'autre approche de la modélisation analytique est la modélisation intermédiaire ou hybride, qui offre une technique d'analyse pratique et avantageuse du point de vue coût-efficacité car elle est plus étroitement liée à la conception préliminaire, à l'analyse globale et aux études de compensation paramétriques. L'approche est idéalement adaptée comme outil pour évaluer de potentielles théories de la conception et un comportement d'ensemble en vue d'améliorer la frangibilité des structures. Le programme hybride permet d'utiliser des données d'épreuves disponibles ou d'autres données comme éléments de base en même temps que le calcul interne des paramètres structurels. Le programme hybride est aussi compatible pour la coordination avec les données des modèles AEF. Le choix de programmes hybrides disponibles est plus limité que celui des programmes AEF.

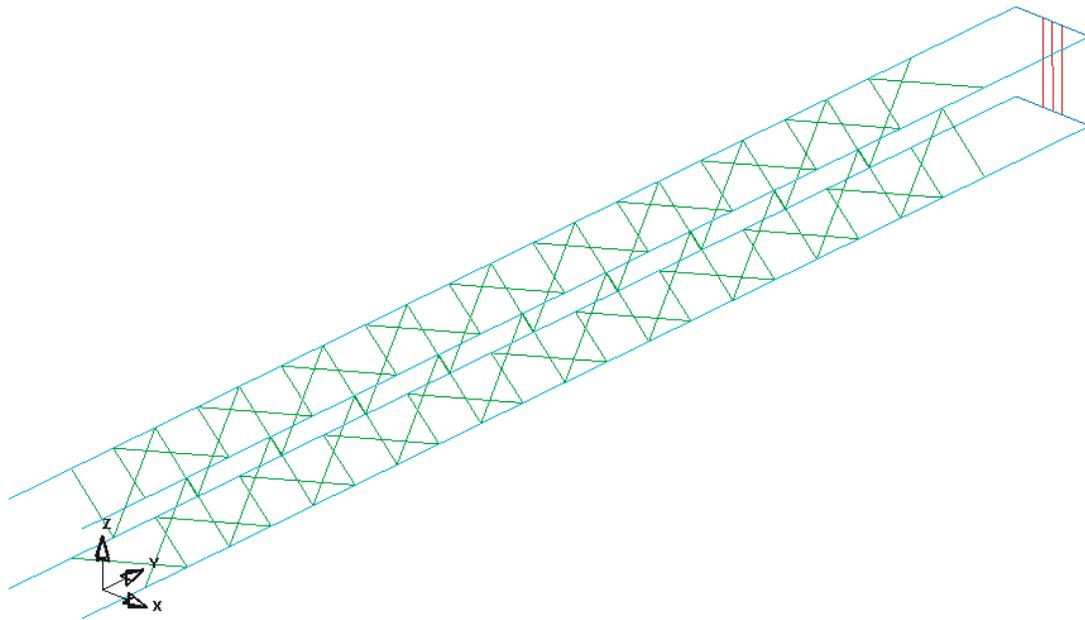
### 6.3 APPROCHE DE L'ANALYSE PAR ÉLÉMENTS FINIS (AEF)

**6.3.1** La modélisation numérique détaillée effectuée à l'aide de l'AEF a nécessité la simulation des résultats d'épreuves à échelle réelle et à des vitesses de 140 km/h (75 kt), 80 km/h (43 kt) et 50 km/h (27 kt). Les détails des paramètres de géométrie, de mécanique et de matériaux des structures utilisés dans ces épreuves étaient disponibles pour la construction du modèle. Les résultats expérimentaux fournis par les jauges extensométriques et les cellules de mesure ont été utilisés et comparés aux valeurs numériquement prédites de force, de déformation et de durée. De plus, une vidéo haute vitesse de la déformation à l'impact a été utilisée pour comparer les modes de déflexion et les résultats.

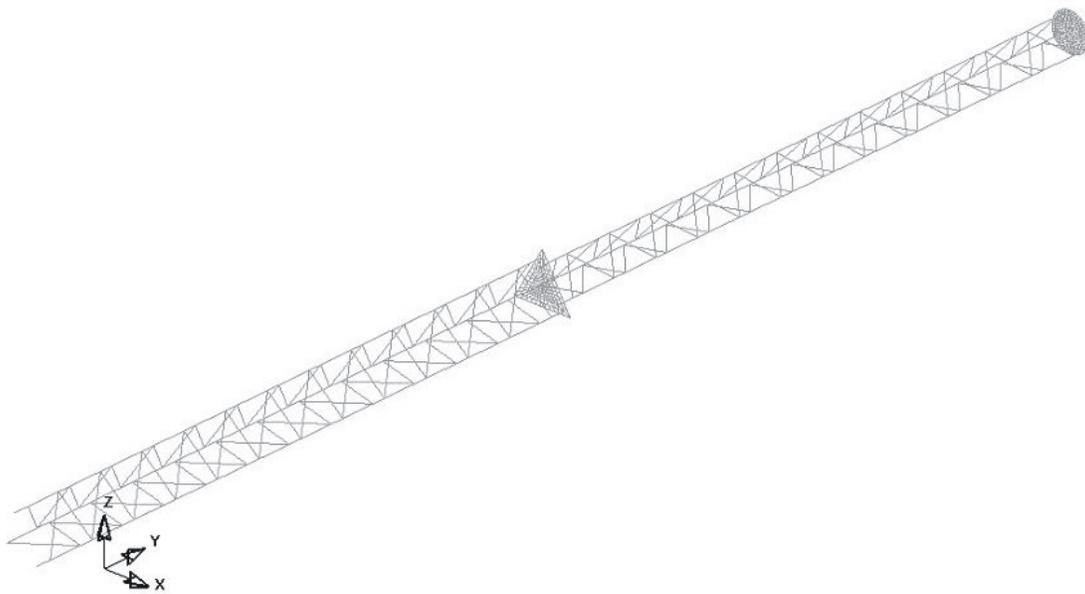
**6.3.2** Pour représenter le mât, un modèle de matériau en plastique élastique ayant les propriétés de l'aluminium a été construit à partir d'environ 2 000 éléments de poutrelle, ayant chacun six degrés de liberté à chaque nœud. Ces degrés de liberté comprennent trois translations et trois rotations par nœud. Pour l'impact sur le mât, on a utilisé un modèle rigide comprenant environ 600 éléments solides présentant les propriétés de l'acier. L'interaction entre les parties disjointes a été traitée au moyen d'éléments de contact. Un transducteur de force de contact a aussi été défini pour contrôler les forces d'impact à l'interface. La Figure 6-1 b) illustre le modèle.

**6.3.3** Les résultats des impacts modélisés se comparent très avantageusement à ceux des épreuves à haute vitesse et à échelle réelle. La déformation du modèle analytique dans la simulation AEF est comparée à celle du mât réel durant l'impact (voir les Figures 6-2 et 6-3). Il est à noter que le mode et l'amplitude de la déformation de même que la durée de la simulation sont très proches des données d'épreuves. Les modes de défaillance du mât sont également prédits de façon analytique.

**6.3.4** La force d'impact prévue soutient aussi très bien la comparaison avec la force mesurée dans les épreuves. Des exemples des données prédites pour la force dans la simulation par comparaison avec celles des épreuves sont illustrés dans les Figures 6-4 et 6-5.



a) Mât de balisage lumineux d'approche — structure de fibre de verre en treillis



b) Mât de balisage lumineux d'approche — structure d'aluminium en treillis

**Figure 6-1. Exemples de modèle tridimensionnel d'analyse par éléments finis (AEF) de mâts de balisage lumineux d'approche**

6.3.5 Le travail de simulation indique que l'analyse dynamique transitoire faisant appel à un modèle validé par un programme AEF explicite a la capacité de prédire la totalité des détails du processus d'impact, y compris la cassure et la séparation des membres.

## 6.4 APPROCHE HYBRIDE

6.4.1 Une modélisation numérique intermédiaire faisant appel à une approche hybride peut être utilisée comme outil préliminaire de conception pour évaluer de potentiels modèles de conception et le comportement d'ensemble, et aussi pour améliorer la frangibilité des structures. Cette approche modélise d'importantes parties de la structure de façon simplifiée et utilise les données d'épreuves ou les données analytiques disponibles, telles que les données AEF, pour le calcul. L'analyse hybride est parfaitement adaptée pour une analyse préliminaire dans laquelle les données de conception détaillées font défaut et elle est hautement adaptable à la variation des paramètres de conception et aux études de tendance grâce à la rapidité des calculs.

6.4.2 Contrairement au modèle AEF, seul un nombre limité d'éléments sont nécessaires dans l'approche hybride. Les modèles utilisés dans l'analyse numérique des mâts de balisage lumineux d'approche en treillis comportent habituellement environ 100 éléments de poutrelle. Les propriétés mécaniques et de défaillance des poutrelles sont déterminées par des épreuves sur les éléments.

6.4.3 Comme dans le cas de l'AEF, les résultats obtenus à l'aide du modèle d'analyse hybride soutiennent bien la comparaison avec ceux obtenus au moyen des épreuves à échelle réelle. La Figure 6-6 illustre le mode de déformation d'ensemble durant l'impact qui est prédit au moyen du modèle d'analyse hybride.

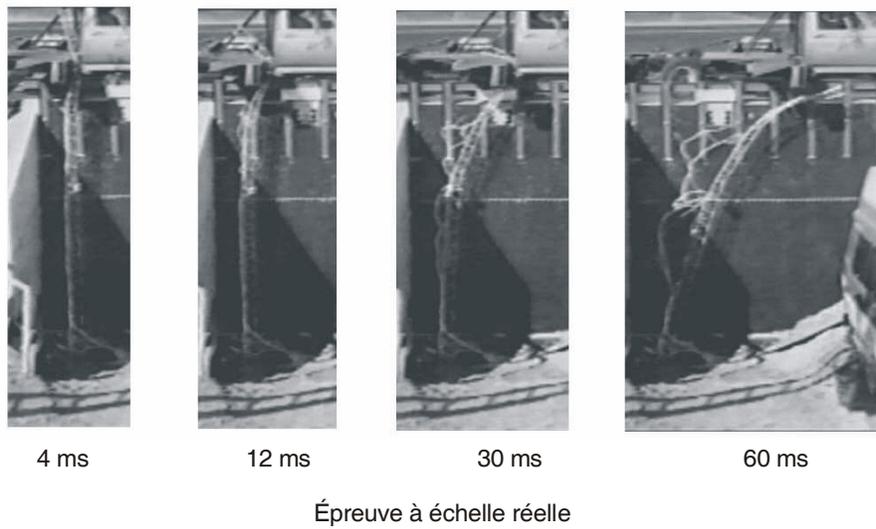
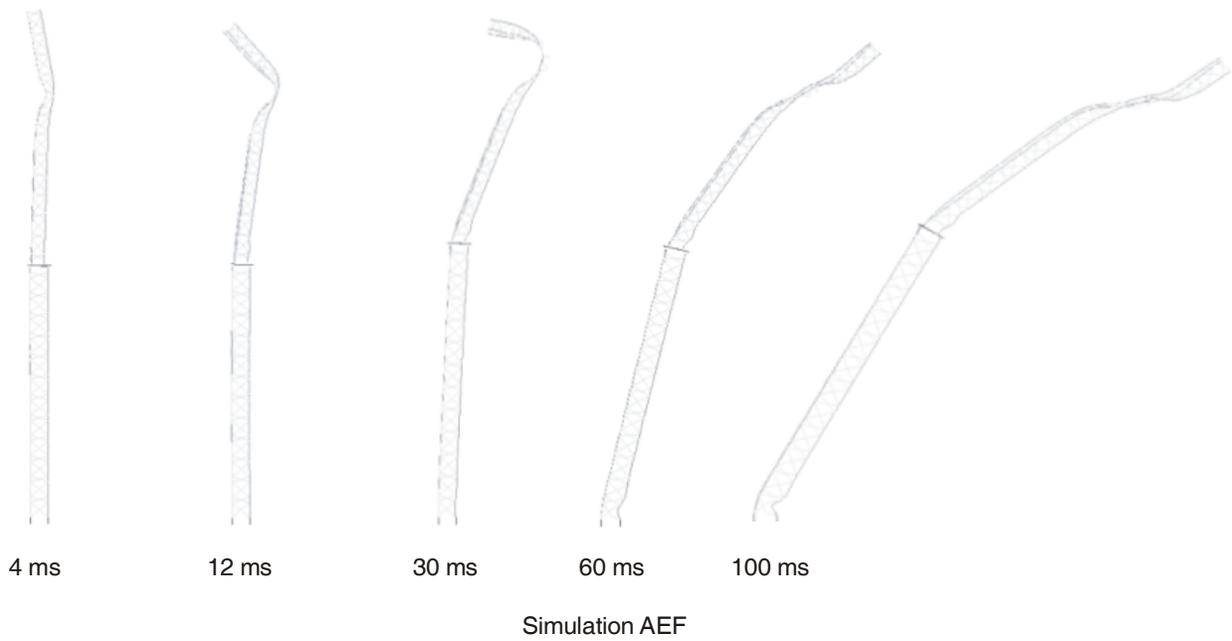
6.4.4 En plus du mode de déformation d'ensemble, la force maximale de contact et l'énergie absorbée durant l'impact sont aussi calculées de façon approximative, dans des limites acceptables (Figures 6-7 et 6-8).

6.4.5 Le temps nécessaire pour conduire une analyse hybride est généralement de quelques minutes.

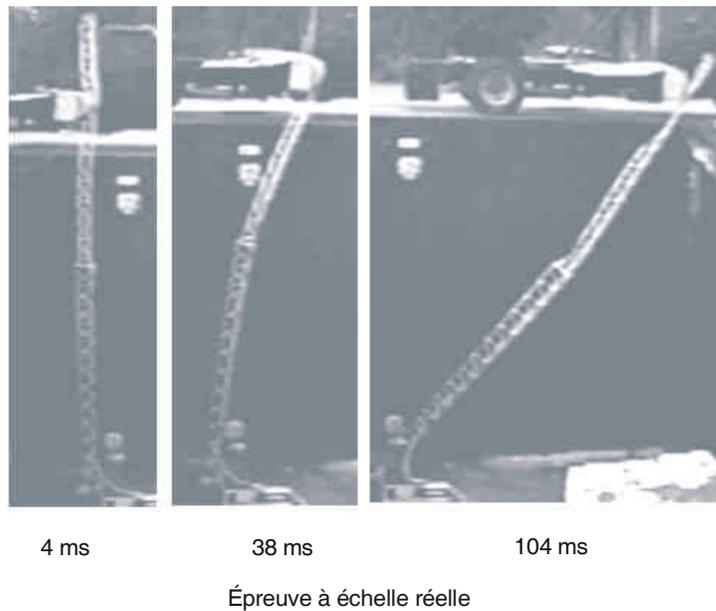
## 6.5 VÉRIFICATION AU MOYEN D'UNE ANALYSE PAR CALCUL

6.5.1 L'objectif de l'analyse par calcul est de développer et de démontrer la capacité de modéliser l'impact de façon appropriée et, par conséquent, de prédire les résultats dans un délai court et à coûts réduits. Comme il est indiqué au § 6.4.3, il est prévu que cette approche viendra appuyer les résultats des épreuves en fournissant des renseignements complémentaires. On aura ainsi grandement amélioré la capacité d'adapter les structures aux différents emplacements en tenant compte notamment des montants, de la hauteur et des changements d'instruments. Une telle approche faciliterait la vérification de la frangibilité des structures aux aéroports.

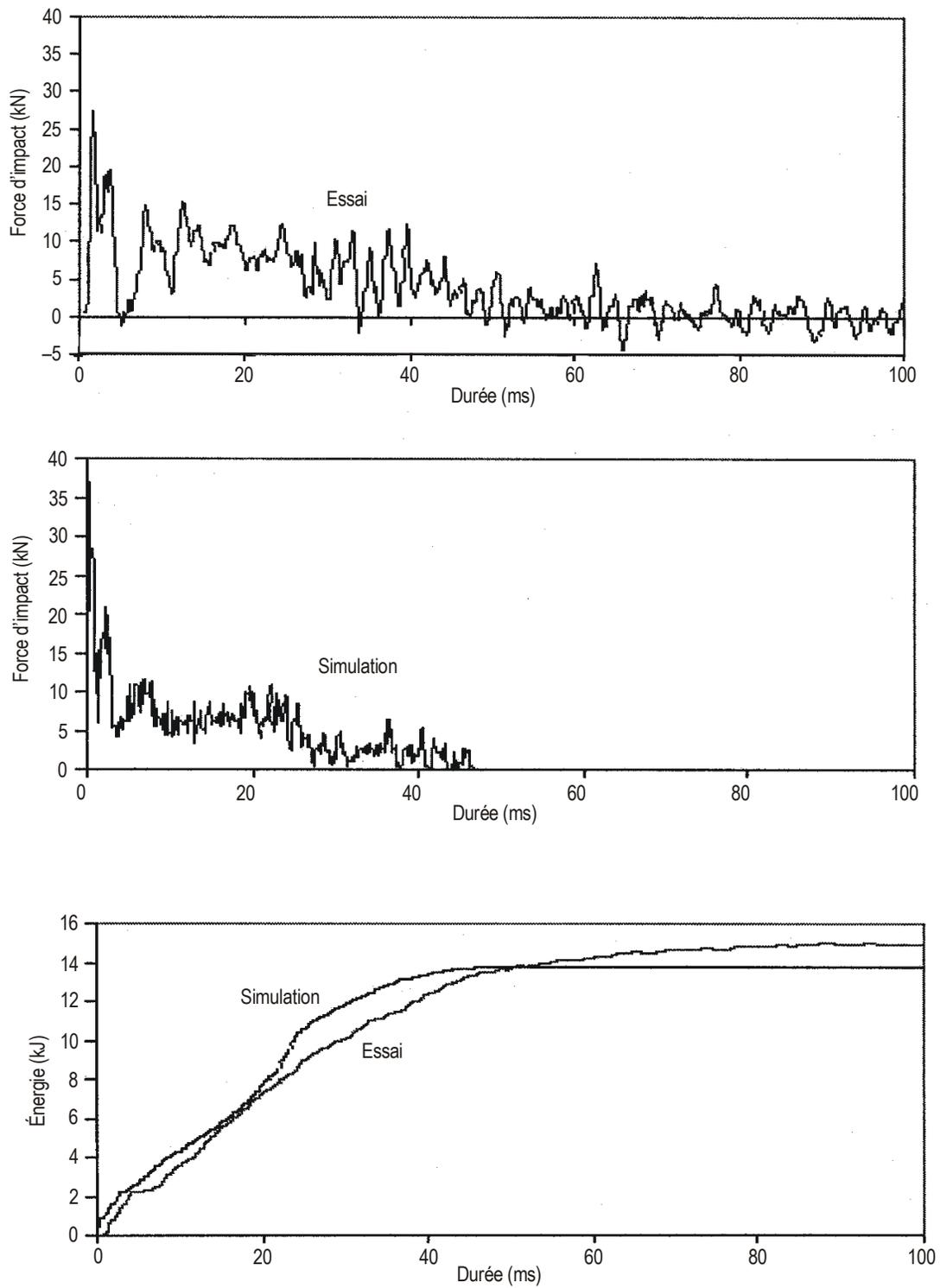
6.5.2 En général, la capacité de modéliser, de simuler et de prédire les performances dynamiques transitoires d'une structure nécessite un logiciel complexe, mais disponible sur le marché, ainsi qu'une capacité de modélisation avancée. Cependant, une fois que la vérification par analyse sera validée et mise en œuvre, on pense que cette capacité sera utile dans de nombreuses situations et dans de nombreux emplacements partout dans le monde. Pour réaliser ces analyses, on peut faire appel à des organismes d'essais indépendants qui ont à la fois la capacité technique et l'expérience dans le domaine des impacts sur les structures.



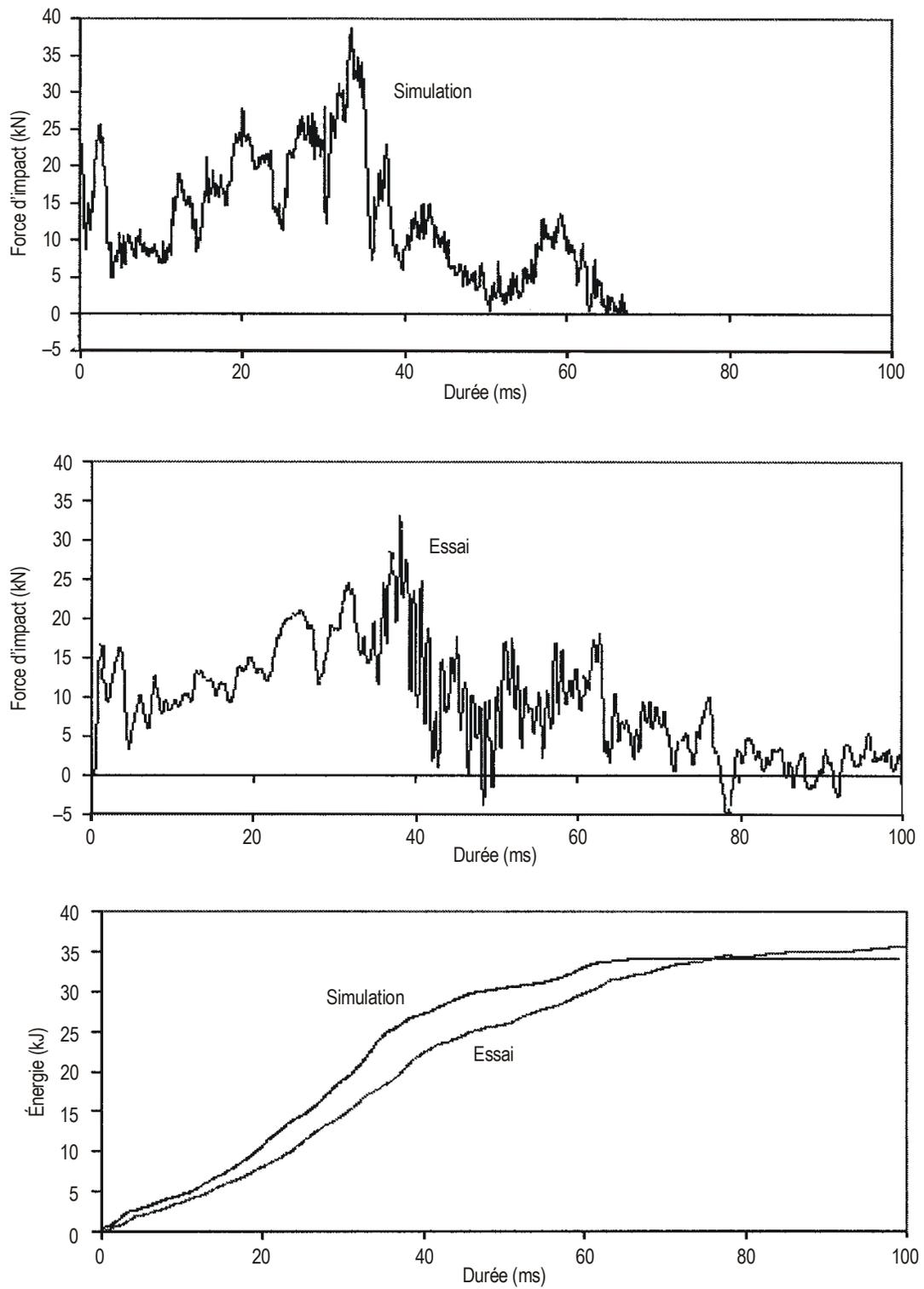
**Figure 6-2. Impacts dans une simulation d'analyse par éléments finis (AEF) et dans une épreuve à échelle réelle — vitesse d'impact 140 km/h ; impact sur le côté ; impacteur rigide**



**Figure 6-3. Impacts dans une simulation d'analyse par éléments finis (AEF) et dans une épreuve à échelle réelle — vitesse d'impact 140 km/h ; impact au sommet ; masse du sommet 5,44 kg ; impacteur rigide**



**Figure 6-4. Force d'impact et énergie — vitesse d'impact 140 km/h ; impact sur le côté ; impacteur rigide**



**Figure 6-5. Force d'impact et énergie — vitesse d'impact 140 km/h ; impact au sommet ; masse du sommet 5,44 kg ; impacteur rigide**

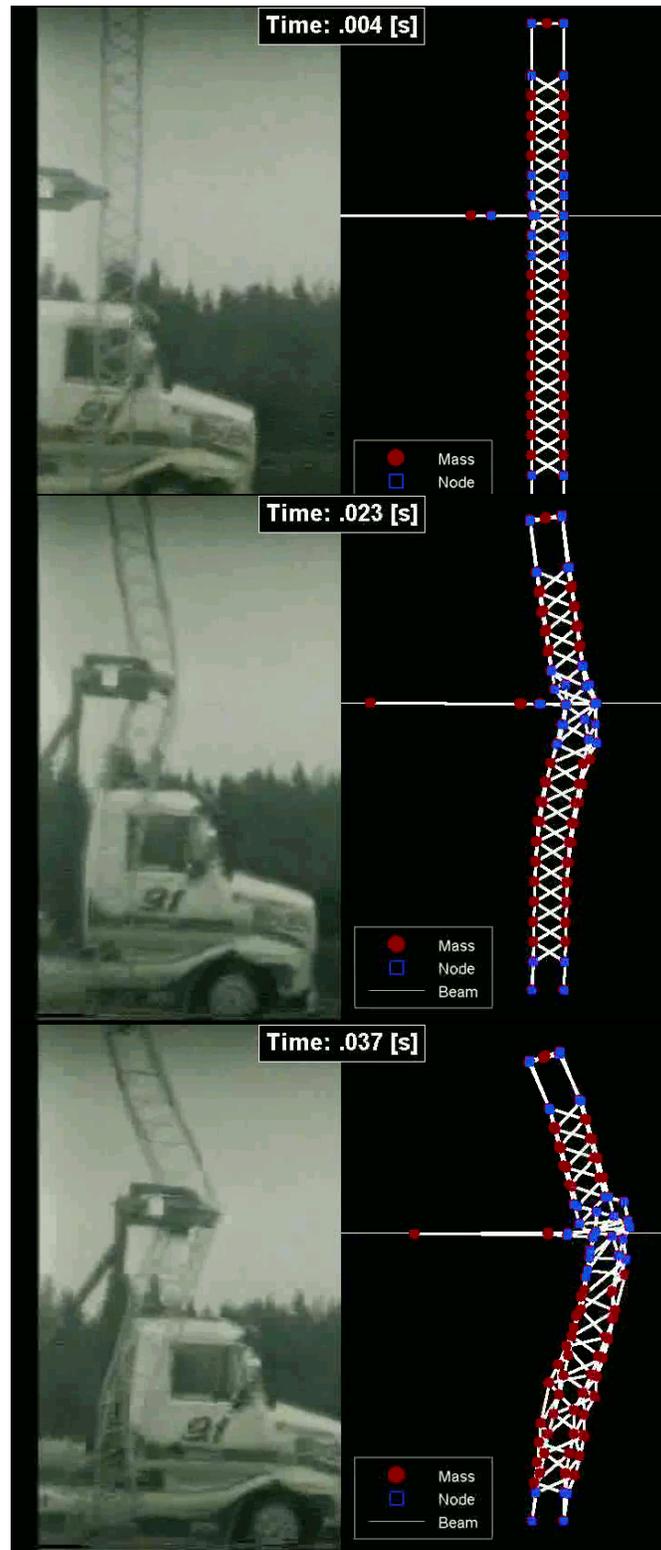
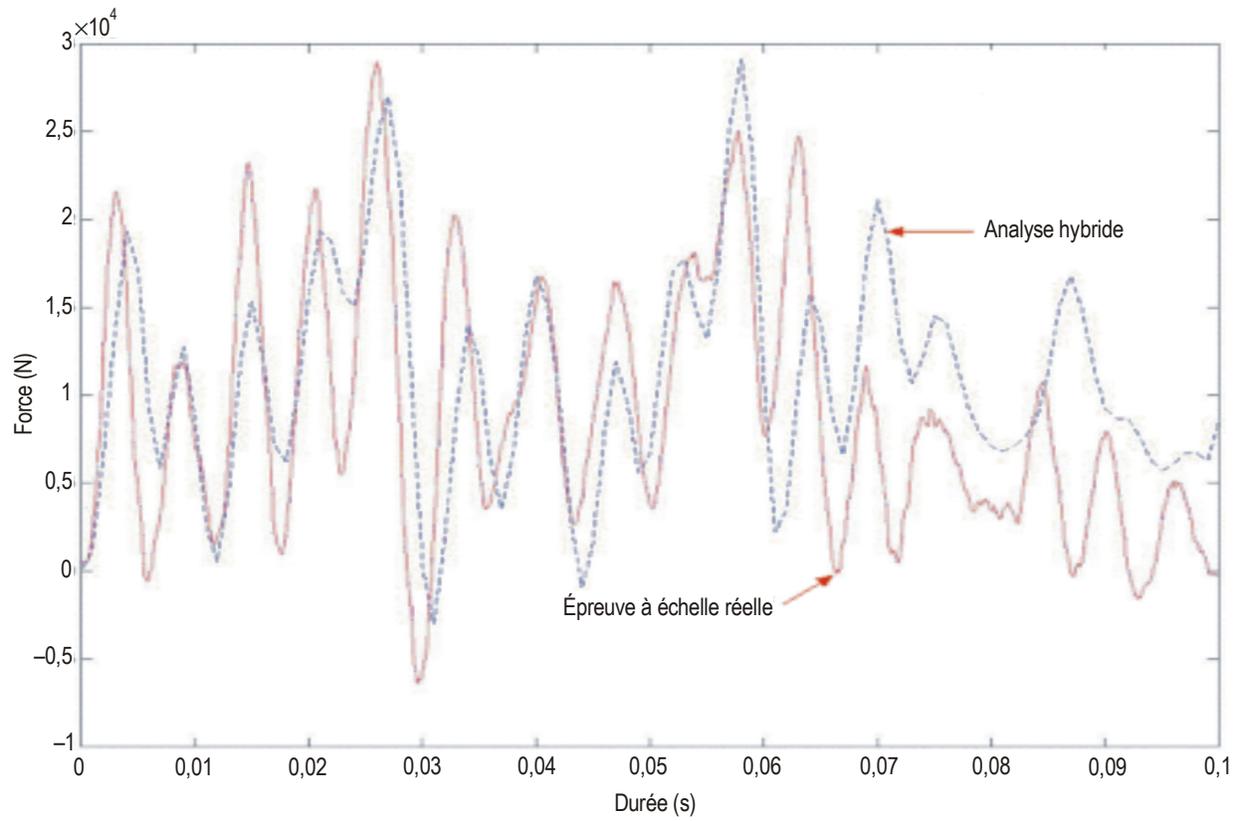
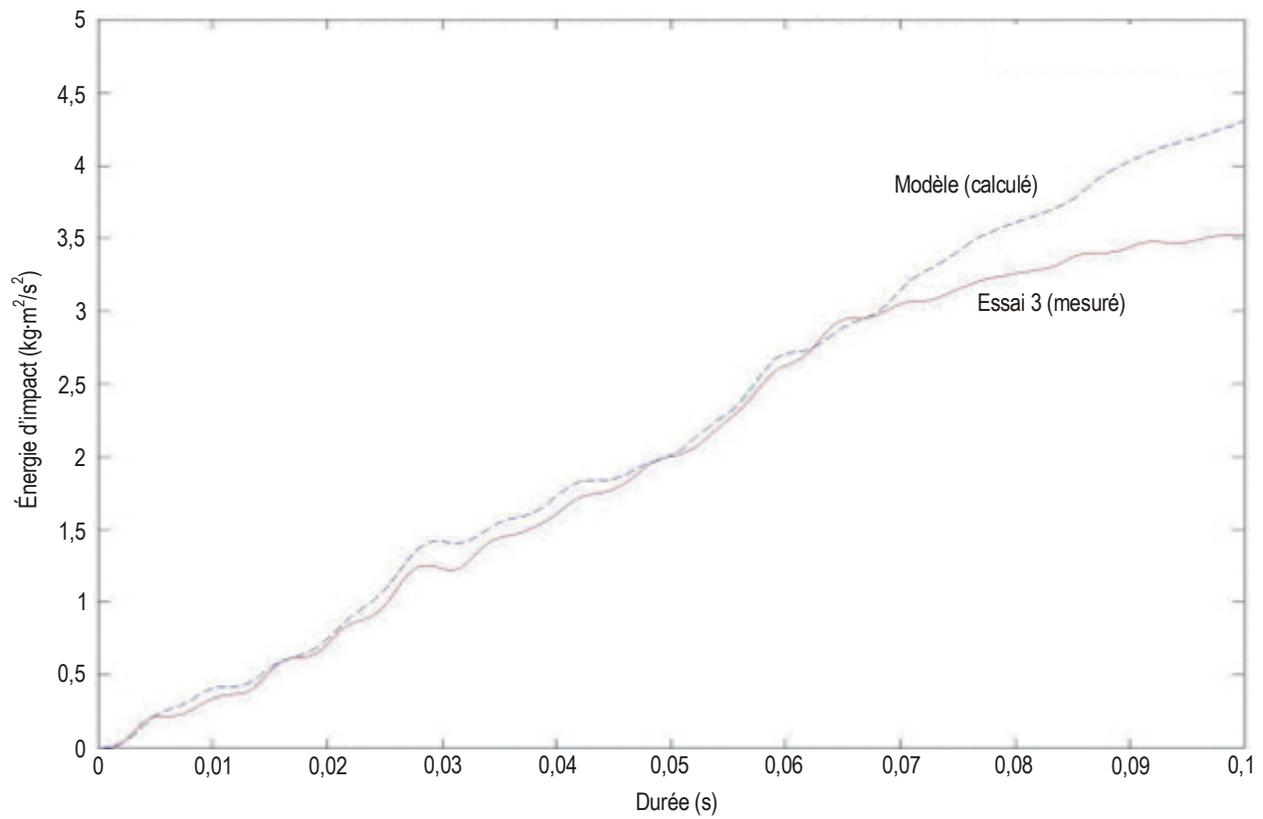


Figure 6-6. Comparaison entre la déformation réelle et celle qui résulte de l'analyse hybride



**Figure 6-7. Forces d'impact calculées au moyen de l'analyse hybride et comparaison avec les résultats obtenus dans les épreuves à échelle réelle**



**Figure 6-8. Énergie d'impact calculée au moyen de l'analyse hybride et comparaison avec les résultats obtenus dans les épreuves à échelle réelle**



## **Chapitre 7**

# **INSTALLATION, INSPECTION ET ENTRETIEN**

### **7.1 GÉNÉRALITÉS**

7.1.1 L'objectif de base des aides de navigation visuelles et non visuelles est de contribuer à la sécurité des vols. Par conséquent, les normes d'entretien se doivent d'être très élevées.

7.1.2 Une fois un système d'aides visuelles installé, son utilité dépend de son bon fonctionnement, lequel dépend à son tour de l'efficacité de l'entretien. Il est essentiel d'établir un système complet et régulier d'entretien des aides visuelles et non visuelles et de leurs montants de façon que les installations répondent aux spécifications, y compris en matière de frangibilité.

### **7.2 INSTALLATION**

7.2.1 Les structures frangibles devraient être installées en respectant les recommandations du fournisseur, notamment en ce qui concerne la structure, le câblage et les raccords, ainsi que la base sur laquelle la structure est installée.

7.2.2 Une structure frangible ne répond plus aux spécifications si elle est utilisée comme cadre de hissage ou modifiée par l'ajout d'une échelle fixe. La structure totale devrait être entretenue soit à l'aide d'un matériel qui peut être facilement mis en position et ensuite soulevé et abaissé, soit en couchant la structure elle-même au sol.

7.2.3 Il est essentiel que toute aide de navigation visuelle ou non visuelle de précision soit installée sur des bases solides. La conception de la base devrait donc assurer une stabilité maximale. Les aides de navigation sont généralement appuyées sur une base en béton qui ne devrait pas constituer un obstacle pour les aéronefs qui passent au-dessus d'une installation. Cet objectif est réalisé soit en enfonçant la base au-dessous du niveau du sol soit en abaissant les côtés de la base de manière que les aéronefs passent au-dessus sans problème. Lorsque la base est enfoncée, la cavité au-dessus de la base devrait être remplie avec un matériau approprié. Ces précautions, ainsi que la construction frangible de l'aide visuelle et de son montant, garantissent que les aéronefs ne subiront pas de dommages importants au cas où ils rouleraient au-dessus de l'aide.

### **7.3 INSPECTION ET ENTRETIEN**

7.3.1 Un programme d'inspection devrait être mis en place conformément aux recommandations et/ou aux spécifications du fournisseur de matériel, de façon à garantir le bon fonctionnement continu des dispositifs frangibles. La méthode d'inspection devrait faire partie du système de gestion de la sécurité à l'aérodrome et garantir que tous les matériels et les structures correspondantes sont inspectés et entretenus en respectant les normes de sécurité les plus élevées. Il conviendrait aussi que l'exploitant d'aérodrome et

le fournisseur de services ATS soient bien au courant de l'état de toutes les installations. De plus, en respectant une méthode d'inspection formelle, on remplit les objectifs suivants :

- a) garantir la conformité avec les normes et pratiques recommandées de l'Annexe 14 et avec les spécifications de l'administration nationale de l'aviation civile applicables à la certification ;
- b) garantir que toute défaillance, toute interruption de fonctionnement ou toute obstruction pouvant avoir une incidence sur la sécurité des aéronefs et du personnel à l'aérodrome est promulguée de façon appropriée et que des mesures correctrices sont prises ;
- c) garantir la conformité avec le système de gestion de la sécurité de l'aérodrome ;
- d) offrir une piste de vérification en cas d'accident ou d'incident.

7.3.2 Toutes les structures et les installations d'un aérodrome qui doivent être frangibles devraient être inspectées dans le cadre du programme d'inspection d'ensemble de l'aérodrome, qui peut prendre la forme d'un programme à trois niveaux, comme suit :

- a) *Niveau 1.* Inspections quotidiennes de l'aérodrome au complet. Ce niveau est conçu expressément pour avoir une vue d'ensemble de l'état général de toutes les installations sur les aires de manœuvre. Ces inspections, qui ont lieu au minimum quatre fois par jour ou quatre fois durant les heures de fonctionnement de l'aérodrome, devraient permettre de détecter les défaillances majeures, les mauvais alignements importants ou le non-fonctionnement de toutes les installations, y compris celles qui sont frangibles. Cette inspection s'applique à l'état physique général de tous les balisages lumineux frangibles au sol qui se trouvent sur une piste et sur les voies de circulation ou à proximité. Des vérifications supplémentaires devraient être réalisées à la tombée de la nuit pour détecter toute panne ou mauvais alignement d'un feu.
- b) *Niveau 2.* Inspections quotidiennes plus détaillées dans lesquelles l'aérodrome est divisé en un certain nombre de zones restreintes qui, si possible, sont inspectées à pied, ce qui permet une évaluation plus complète. À ce niveau d'inspection, toutes les aides visuelles et non visuelles frangibles devraient être contrôlées pour détecter les dommages, de même que leurs fondations et points d'ancrage. Une attention particulière devrait être accordée aux installations qui se trouvent sur la bande de piste et sur l'aire de sécurité d'extrémité de piste. De plus, chaque système complet de balisage lumineux d'approche, avec ses câbles, ses feux, ses mâts et autres montants devrait être contrôlé deux fois par an.
- c) *Niveau 3.* Inspection/audit de gestion conduite par le personnel d'exploitation et d'ingénierie de niveau supérieur. Il s'agit essentiellement d'un audit de l'inspection de niveau 2 qui garantit que les responsables de l'exploitation et de l'ingénierie participent pleinement au programme d'inspection d'ensemble côté piste, dans le cadre du système de gestion de la sécurité. À ce niveau, le personnel devrait vérifier physiquement toutes les installations qui doivent être frangibles.

7.3.3 Les inspections et les audits effectués aux trois niveaux de même que l'identité des personnes qui les ont réalisés devraient être consignés en détail. De plus, aux trois niveaux, il devrait y avoir possibilité de consigner de façon formelle les constats de défaillance et de confirmer aux services compétents que des mesures correctrices appropriées ont été prises. Le programme d'inspection à trois niveaux devrait faire l'objet d'un examen régulier pour pouvoir y introduire des améliorations, des modifications technologiques et autres. Le programme d'inspection décrit au § 7.3.2 devrait garantir que les vols bénéficient du plus haut degré de sécurité et que des principes optimaux de gestion de la sécurité sont appliqués dans toutes les zones côté piste.

7.3.4 De plus, un programme d'entretien devrait être élaboré, mis en place et exécuté conformément aux recommandations et/ou aux spécifications du fournisseur du matériel. Tous les entretiens devraient être réalisés par du personnel formé et compétent et toutes les procédures devraient garantir que les installations sont sûres et demeurent fonctionnelles, fournissant aux équipages de conduite des renseignements, un balisage lumineux et un guidage appropriés.

7.3.5 D'autres procédures devraient aussi être mises en place pour inspecter les installations frangibles qui peuvent être soumises à des vents forts ou autres conditions météorologiques difficiles ou à des charges telles que le souffle des réacteurs.

---



## RÉFÉRENCES

- FARHA, M.H., D.G. ZIMCIK et A. SELMANE. « Impact Testing of Airport Approach Lighting Towers ». *Proceedings from the 3rd ICCAE Conference*, Le Caire, mars 1999.
- FARHA, M.H., D.G. ZIMCIK et A. SELMANE. « Study on the Frangibility of Airport Approach Lighting Towers ». *Proceedings from the FAA Technology Transfer Conference*, New Jersey, avril 1999.
- FRIJNS, R.H.W.M. « Structural Tests to Determine the Mechanical Properties of a Frangible Approach Light Mast Made by Exel Oy ». National Aerospace Laboratory, NLR CR-98-341, 1998.
- FRIJNS, R.H.W.M et J.F.M. WIGGENRAAD. « Force Data of Soft Impact Tests on Frangible Approach Light Structures of Exel Performed in 1991 ». National Aerospace Laboratory, NLR CR-99-491, 1999.
- FRIJNS, R.H.W.M. et J.F.M. WIGGENRAAD. « Static Compression Tests and Computer Models of Wing Impactors Used for Impacts on Frangible Approach Light Towers ». National Aerospace Laboratory, NLR CR-99-495, 1999.
- National Aerospace Laboratory – The Netherlands. *Full-scale Impact Tests on Frangible Approach Light Towers* (CD-ROM).
- NEJAD, ENSAN M., D.G. ZIMCIK, S.T. JENQ et F.B. HSIAO. « FEA Impact Simulation of Airport Approach Lighting Towers ». International Forum of Aeroelasticity and Structural Dynamics, Amsterdam, juin 2003.
- NEJAD, ENSAN M., D.G. ZIMCIK, S.T. JENQ et F.B. HSIAO. « Investigation of Impact of Airport Approach Lighting Towers ». The 16th Aerospace Structures and Materials Symposium of the 50th Canadian Aeronautics and Space Institute Conference, Montréal, avril 2003.
- Transports Canada, Aerodrome Safety, Technical Evaluation Engineering. « Finite Element Analysis of Transient Dynamic Impact of Airport Approach Lighting Towers ». AARME/C-00-01, TP 13622E, août 2000.
- Transports Canada, Aerodrome Safety, Technical Evaluation Engineering. « A Study on the Frangibility of Airport Approach Lighting Towers ». ASIC-E-98-1, juillet 1998.
- Transports Canada, Aerodrome Safety, Technical Evaluation Engineering. « A Study on the Frangibility of Airport Approach Lighting Towers ». ASIC-E-98-1, Phase II, octobre 1998.
- Transports Canada, Aerodrome Safety, Technical Evaluation Engineering. « A Study on the Frangibility of Airport Approach Lighting Towers ». Phase III, AARME/C-00-02, TP 13621E, août 2000.
- WIGGENRAAD, J.F.M. « The Development of a Computer Code for the Evaluation of the Frangibility of Structures at Airports ». National Aerospace Laboratory, NLR CR-2003-620, décembre 2003.
- WIGGENRAAD, J.F.M, A. DE BOER et B. SCHUNSELAAR. « Final Krash-model for Exel's Frangible Approach Light Structure and Preliminary Model for Millard's Structure ».

ZIMCIK, D.G., A. SELMANE et M.H. FARHA. « Experimental Study on the Frangibility of the Canadian Airport Approach Lighting Towers ». *Canadian Aeronautics and Space Journal*, Vol. 45, N° 1, mars 1999, p. 32-38.

ZIMCIK, D.G., ENSAN M. NEJAD et M.H. FARHA. « Frangibility of Airport Approach Lighting Towers ». Seventh International Conference on Structures Under Shock and Impact, Montréal, mai 2002.

— FIN —

## PUBLICATIONS TECHNIQUES DE L'OACI

*Le résumé ci-après précise le caractère des diverses séries de publications techniques de l'Organisation de l'aviation civile internationale et décrit, en termes généraux, la teneur de ces publications. Il n'est pas fait mention des publications spéciales qui ne font pas partie d'une série: Catalogue des cartes aéronautiques ou Tableaux météorologiques pour la navigation aérienne internationale, par exemple.*

Les **Normes et pratiques recommandées internationales** sont adoptées par le Conseil en vertu des dispositions des articles 54, 37 et 90 de la Convention relative à l'aviation civile internationale, et constituent les Annexes à la Convention. Sont classées comme normes internationales les spécifications dont l'application uniforme par les États contractants est reconnue nécessaire à la sécurité ou à la régularité de la navigation aérienne internationale; les spécifications dont l'application uniforme est reconnue souhaitable dans l'intérêt de la sécurité, de la régularité ou de l'efficacité de la navigation aérienne internationale sont classées comme pratiques recommandées. La connaissance de toute différence entre les règlements ou usages d'un État et les dispositions d'une norme internationale est essentielle à la sécurité ou à la régularité de la navigation aérienne internationale. Aux termes de l'article 38 de la Convention, un État qui ne se conforme pas aux dispositions d'une norme internationale est tenu de notifier toute différence au Conseil de l'OACI. La connaissance des différences par rapport aux pratiques recommandées peut aussi présenter de l'importance pour la sécurité de la navigation aérienne; bien que la Convention n'impose pas d'obligation à cet égard, le Conseil a invité les États contractants à notifier ces différences en plus des différences par rapport aux normes internationales.

Les **Procédures pour les services de navigation aérienne** (PANS) sont approuvées par le Conseil pour être mises en application dans le monde entier. Elles comprennent surtout des procédures d'exploitation qui ne paraissent pas avoir atteint un stade de maturité suffisant pour être adoptées comme normes et pratiques recommandées internationales, ainsi que des dispositions présentant un caractère plus définitif, mais

trop détaillées pour être incorporées à une Annexe, ou susceptibles d'être amendées fréquemment, et pour lesquelles la méthode prévue dans la Convention serait inutilement compliquée.

Les **Procédures complémentaires régionales** (SUPPS) ont un caractère analogue à celui des procédures pour les services de navigation aérienne, car elles ont été aussi approuvées par le Conseil, mais elles ne sont applicables que dans certaines régions. Elles sont établies sous forme de recueil, car certaines d'entre elles s'appliquent à des régions qui se chevauchent, ou sont communes à plusieurs régions.

---

*Les publications ci-après sont établies sous l'autorité du Secrétaire général, conformément aux principes approuvés par le Conseil.*

Les **Manuels techniques** donnent des indications et renseignements qui développent les dispositions des normes, pratiques recommandées et procédures internationales; ils sont destinés à faciliter la mise en application de ces dispositions.

Les **Plans de navigation aérienne** présentent sous une forme concise les plans OACI de mise en oeuvre des installations et services destinés à la navigation aérienne internationale dans les diverses régions de navigation aérienne de l'OACI. Ils sont établis, par décision du Secrétaire général, d'après les recommandations des réunions régionales de navigation aérienne et les décisions du Conseil au sujet de ces recommandations. Les plans sont amendés périodiquement pour tenir compte des changements survenus dans les installations et services nécessaires et de l'état d'avancement de la mise en application.

Les **Circulaires** permettent de communiquer aux États contractants des renseignements pouvant les intéresser dans le cadre de diverses spécialités. Elles comprennent des études sur des questions techniques.

---

© OACI 2006  
5/06, F/P1/300

N° de commande 9157P6  
Imprimé à l'OACI

